



PROEFSTATION VOOR DE RUNDVEEHOUDERIJ,  
SCHAPENHOUDERIJ EN PAARDENHOUDERIJ (PR)

---

# Het vergisten van rundveemest in een propstroom biogasinstallatie

*Verslag van 3 jaar onderzoek op Waiboerhoeve*

ARCHIEF

Ing. W. J. Bruins

PROEFSTATION VOOR DE RUNDVEEHOUDERIJ, SCHAPENHOUDERIJ EN PAARDENHOUDERIJ (PR)  
Lelystad

HET VERGISTEN VAN RUNDVEEMEST IN EEN

PROPSTROOM BIOGASINSTALLATIE

Verslag van 3 jaar onderzoek op de Waiboerhoeve

Ing. W.J. Bruins

Redactie : ing. J. van Eldik

RAPPORT nr. 93

MAART 1984



INHOUDSOPGAVE		<u>blz.</u>
Samenvatting en conclusies	5	8. Veranderingen 21
1. Inleiding	6	8.1. Isolatie 21
2. Achtergrond van de biogasproduktie	7	8.2. Verwarming 21
3. Factoren die van invloed zijn op het gis- tingsproces en de gasproduktie	8	8.3. Rondpompen 22
3.1. Vergistbaarheid van de mest	8	8.4. Overige veranderingen 22
3.2. Belasting	8	9. Resultaat van de veranderingen 23
3.3. Zuurgraad	9	9.1. Isolatie 23
3.4. Temperatuur	9	9.2. Verwarming 23
3.5. Roeren	9	9.3. Rondpompen 23
4. Biogasinstallaties volgens het propstroom- systeem	10	9.4. Gastransportsysteem 24
4.1. Amerika	10	9.5. Gasopslag 24
4.2. Denemarken	10	9.6. Mestaanvoer pomp 24
4.3. Duitsland	11	10. Mestvergisting in 1981-1982 25
4.4. Nederland	11	10.1. Verloop 25
5. Biogasinstallatie op de Waiboerhoeve	12	10.2. Mestanalyse 25
5.1. Inleiding	12	10.3. Mestdosering 25
5.2. Bouwwijze biogasinstallatie	12	10.4. Gasproduktie 25
5.3. Verwarming	12	10.5. Gewijzigde opzet 25
5.4. Rondpompsysteem	15	10.6. Buitenlandse ervaringen 26
5.5. Gasopslag	15	10.7. Uitvoering op de Waiboerhoeve 26
5.6. Gastransportsysteem	15	11. Verloop mestvergisting 1982-1983 28
5.7. Mestaanvoersysteem	17	11.1. Mestanalyse 28
5.8. Mestafvoer	17	11.2. Mestdosering 28
6. Het vergistingsproces	19	11.3. Gasproduktie 28
6.1. Verloop 1980-1981	19	11.4. Laboratoriumonderzoek 29
6.2. Mestanalyse	19	12. Economische benadering 30
6.3. Mestdosering	19	13. Nabeschouwing 31
6.4. Gasproduktie	20	Literatuurlijst 34
7. Technische problemen	20	Bijlagen
7.1. Isolatie	20	
7.2. Verwarming	20	
7.3. Rondpompsysteem	21	
7.4. Gasopslag	21	
7.5. Gastransportsysteem	21	
7.6. Mestafvoer	21	

# TABLE OF CONTENTS

	<u>page</u>		<u>page</u>
Summary and conclusions	32	8. Reconstruction of the digestion tank	21
1. Introduction	6	8.1. Insulation	21
2. Background of biogas-production	7	8.2. Heating	21
3. Factors that influence the digestion and methane-production	8	8.3. Mixing	22
3.1. Digestability of manure	8	8.4. Other changes	22
3.2. Loading rate	8	9. Results of changes	23
3.3. Level of pH	9	9.1. Insulation	23
3.4. Temperature	9	9.2. Heating	23
3.5. Mixing	9	9.3. Mixing	23
4. Biogas-plants working according the plug-flow system	10	9.4. Transport of gas	24
4.1. USA	10	9.5. Storage of gas	24
4.2. Danmark	10	9.6. Slurry-supply pump	24
4.3. Germany	11	10. Digestion in 1981-1982	25
4.4. Holland	11	10.1. Results	25
5. Biogas-plant on the Waiboerhoeve	12	10.2. Analysis of slurry	25
5.1. Introduction	12	10.3. Loading rate	25
5.2. Construction	12	10.4. Gas production	25
5.3. Heating	12	10.5. New approach	25
5.4. Mixing	15	10.6. Experiences in foreign countries	26
5.5. Gas-storage	15	10.7. Experiment on the Waiboerhoeve	26
5.6. Transport of gas	15	11. Results of digesting in 1982-1983	28
5.7. Slurry-supply	17	11.1. Analysis of slurry	28
5.8. Slurry-disposal	17	11.2. Loading rate	28
6. Digestion	19	11.3. Gas production	28
6.1. Results 1980-1981	19	11.4. Experiments in laboratory	29
6.2. Analysis of slurry	19	12. Economic approach	30
6.3. Loading rate	19	13. Review	31
6.4. Methane production	20	Summary and conclusions	32
7. Technical problems	20	Literature	34
7.1. Insulation	20	Appendices	
7.2. Heating system	20		
7.3. Mixing	21		
7.4. Gas-storage	21		
7.5. Transport of gas	21		
7.6. Slurry-disposal	21		

## SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Aan het eind van de jaren zeventig is in binnen en buitenland belangstelling gekomen voor het winnen van biogas door het vergisten van organische stof. In het kader van het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van biogasproductie op veebedrijven in Nederland is in 1980 op de Waiboerhoeve te Lelystad een biogasininstallatie gebouwd die werkte volgens het propstroom-systeem.

Bij het propstroom-systeem wordt de mest aan één zijde in de tank gepompt en aan de andere zijde afgevoerd. De tankinhoud wordt niet geroerd, omdat het de bedoeling is dat de gistende mest iedere dag wat opschuift in de richting van de afvoer. Dit biedt theoretisch het voordeel van een grotere netto energie-opbrengst, omdat geen energie voor het roeren nodig is. Tevens zou de mest beter kunnen uitgisten, omdat vergiste en onvergiste mest niet worden vermengd. Bij andere systemen wordt ook steeds verse of half vergiste mest uit de biogastank gepompt. De vergistingstank van de biogasininstallatie op de Waiboerhoeve was gedeeltelijk ingegraven. De doosvormige tank had een inhoud van 80 m<sup>3</sup>, wat voldoende was voor de mest van ongeveer 60 koeien. De wanden van staalplaat waren geïsoleerd en de bodem was van beton. In de tank waren verwarmingsbuizen gemonteerd waarmee de mest op een temperatuur van 32 graden wordt gehouden.

Direct bij het in gebruik nemen van de biogasininstallatie op de Waiboerhoeve dienden zich al verschillende problemen aan die niet op korte termijn waren te verhelpen.

Op grond van de ervaringen in het eerste jaar werd tot een groot aantal veranderingen besloten. Deze veranderingen leidden echter niet tot de verwachte verbetering. Vooral het ontstaan van drijfslagen in de vergistingstank was een steeds terugkerend euvel.

Buitenlandse ervaringen geven aan dat een drijfslag in een propstroom-systeem kan worden voorkomen door te werken met mest met een droge-stofgehalte van rond 12 procent. Onder onze omstandigheden heeft rundveemest echter veelal zeven tot negen procent droge stof. Een andere manier om drijfslagen te voorkomen

is de mest vooraf te scheiden. Het vloeibare deel van gescheiden mest, waarop geen drijfslag meer ontstaat, wordt dan vergist.

De resultaten van het vergisten van gescheiden mest waren teleurstellend, waarschijnlijk als gevolg van een combinatie van een hoge pH en een hoog ammoniakgehalte. Vanwege de vele problemen met de propstroominstallatie en omdat de perspectieven voor de productie van biogas op gezinsbedrijven met dit type vergistingsinstallatie op korte termijn niet rooskleurig lijken, is besloten het onderzoek te beëindigen.

Uit het onderzoek op de Waiboerhoeve kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- Bij het ontwerpen van biogasininstallaties moet veel aandacht geschonken worden aan de procesvoorwaarden die gelden voor biogasproductie. Alles dient er op gericht te zijn om optimale omstandigheden te creëren voor biogasproductie.
- Omdat het vergisten van mest meestal gebeurt bij temperaturen die hoger zijn dan die van de omgevende lucht moet de vergistingstank goed geïsoleerd worden. Er moet isolatiemateriaal gekozen worden dat zijn isolerende eigenschappen ook onder vochtige omstandigheden behoudt, omdat het bijna onvermijdelijk is dat na verloop van tijd vocht in de isolatie dringt.
- Bij het bepalen van het benodigde verwarmend oppervlak in de vergistingstank is het van belang te weten wat de temperatuur is van het water dat voor de verwarming wordt gebruikt.
- Wanneer zoals bij het propstroom-systeem de inhoud van de vergistingstank niet geroerd wordt, is het ter voorkoming van temperatuurverschillen in de tank noodzakelijk dat de verwarming regelmatig verdeeld door de hele tank voorkomt.
- Als homogeniseren van de inhoud van een horizontale vergistingstank noodzakelijk is, blijkt dat niet goed mogelijk met een rondpompsysteem waarbij een mestpomp gebruikt wordt die geen druk kan opbouwen. Vooral als zich al drijfslagen hebben gevormd kan van dit roersysteem geen goed resultaat verwacht worden.

- Bij het ontwerpen van biogasinstallaties moet aandacht geschonken worden aan het feit dat het nodig kan zijn een goed monster van de gistende mest te nemen. Vooral bij propstroom-systemen stuit dit op moeilijkheden.
- Er dient naar gestreefd te worden om te vergisten mest zo homogeen mogelijk van samenstelling te laten zijn.
- In dit verband wordt opgemerkt dat het vergisten van rundveemest die al enige tijd opgeslagen is vooraf gemengd moet worden.
- Het verdunnen van rundveemest door er bijvoorbeeld spoelwater uit de melkstal bij te voegen dient vermeden te worden. Mest verdund met water geeft eerder drijfslagen en kan per m<sup>3</sup> mest minder biogas leveren. Het nuttig rendement wordt daardoor verlaagd.
- Rundveemest die in een biologisch niet goed functionerende propstroom-biogasinstallatie wordt gebracht vormt drijfslagen, waardoor een vicieuze cirkel ontstaat van drijfslagvorming en lage gasproductie. Het doorbreken van deze vicieuze cirkel is tijdens het onderzoek op de Waiboerhoeve niet mogelijk gebleken.
- Het gebruik van biogas in niet aangepaste apparatuur geeft problemen. Bij het gebruik in een normale CV-ketel was op de Waiboerhoeve de ervaring dat deze zeer snel vervuilde. Ook de corrosie van de ketel was buitengewoon groot. Wellicht is het gebruik van ketelwater van 60° C debet geweest aan de problemen.

## 1. INLEIDING

De sprongsgewijze stijging van de energieprijzen in de jaren zeventig heeft de belangstelling voor nieuwe vormen van energiewinning doen toenemen. Voor de landbouw komen vooral zon en wind in aanmerking maar ook de produktie van biogas door het vergisten van organische stof. Op veehouderijbedrijven is vooral de dierlijke mest een belangrijke bron van organische stof.

Het winnen van energie door het vergisten van organische stof is een al lang bekende techniek. Al in de 19e eeuw werd bij laboratoriumproeven met mest ontdekt dat onder bepaalde omstandigheden methaangas kon ontstaan. Tussen de beide wereldoorlogen werd in Duitsland en Frankrijk verder geëxperimenteerd met de mogelijkheden van biogaswinning.

Vlak na de 2e wereldoorlog was er een kleine opleving in de belangstelling voor biogaswinning, maar door de lage olieprijsen taande die belangstelling snel. In de zeventiger jaren bleek door twee forse stijgingen van de energieprijzen de belangstelling voor de biogastechniek (weer) te ontwaken. Deze ontwikkeling is vooral gestimuleerd door verschillende overheidsinstellingen, waardoor het mogelijk werd dat biogasproductie uit mest op praktisch-schaal werd beproefd.

Bij de introductie van biogasproductie op veebedrijven aan het eind van de jaren zeventig moesten tal van vragen beantwoord en problemen opgelost worden. Een van de belangrijkste vragen was de kwestie van de rentabiliteit van biogasproductie in het bijzonder op moderne gezinsbedrijven. Een andere vraag was op welke manier de benodigde procesenergie (energie voor het in stand houden van het proces) beperkt zou kunnen blijven. In het kader van deze vraagstelling is in de zomer van 1980 op de Waiboerhoeve te Lelystad in samenwerking met het IMAG te Wageningen een biogasinstallatie gebouwd die werkt volgens het propstroom-systeem. In dit verslag wordt ingegaan op de ervaringen met dit systeem. Tevens wordt ingegaan op achtergronden van de biogasproductie en enkele buitenlandse ervaringen met (propstroom)biogasinstallaties.

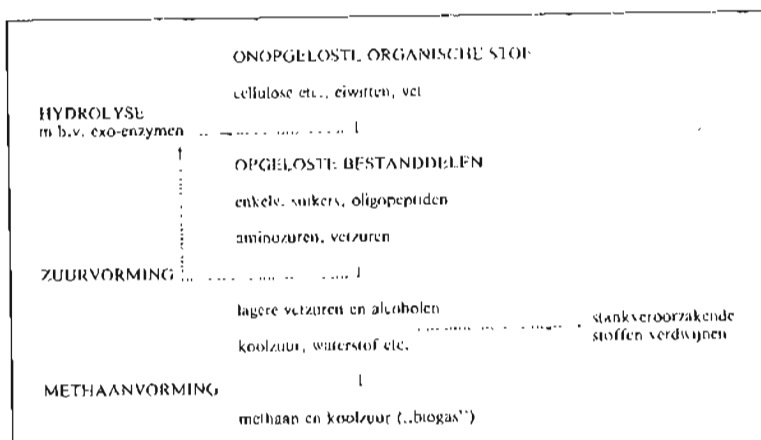
Met nadruk wordt er hier op gewezen dat de ervaringen zoals hier verwoord voor het prop-stroom-systeem niet representatief zijn voor de ervaringen zoals opgedaan zijn en worden met geroerde biogasinstallaties.

Bij het tot stand komen van dit verslag past een woord van dank aan de medewerkers van de Rijks Agrarische Afvalwater Dienst, de Landbouwhogeschool, het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen en de afdeling onderzoek van de Waiboerhoeve.

## 2. ACHTERGROND VAN DE BIOGASPRODUKTIE

In de natuur wordt onder anaërobe (zuurstofloze) omstandigheden uit bijna alle soorten organische stof gas geproduceerd. Een mooi voorbeeld daarvan is het moerasgas dat in het westen van ons land soms spontaan in de sloot opborrelt. Dit gas is ontstaan doordat plantenresten waaruit het veen is opgebouwd en dat op enige diepte voorkomt, door micro-organismen wordt afgebroken.

Het blijkt erg moeilijk te zijn het biochemische proces dat aan biogas-vorming ten grondslag ligt te reconstrueren. Het proces verloopt (versimpeld weergegeven) via een aantal stappen en bij de laatste stap wordt het begeerde methaan gevormd. De eerste stappen dienen ter "bewerking" van de organische stof waarna de gevormde verbindingen uiteindelijk worden omgezet in methaan (55-70 %), koolzuurgas (27-44 %), waterstof (< 1 %) en zwavelwaterstof (< 3 %) (Baader, 1978). Een schematische en globale weergave van het vergistingsproces wordt gegeven door NN (1982).



Opgemerkt moet nog worden dat lang niet alle organische stof in de mest kan worden omgezet. In het algemeen kan men stellen dat hoe efficiënter een dier met het voer omgaat hoe moeilijker het is om uit organische stof in de mest gas te winnen. Zo wordt door Baader (1978) aangegeven dat bij een vergistingstijd van 20 dagen en bij 30° C de volgende gasproducties te verwachten zijn. (liters biogas per kg organische stof).



Rundvee 150

Varkens 280

Dat mest van rundvee minder gas levert, komt doordat de gemakkelijk afbreekbare bestanddelen in de organische stof al in de pens en door de darmflora zijn afgebroken. Wat overblijft is organische stof met een hoger gehalte aan moeilijk afbreekbare organische stof die relatief langzaam in biogas omgezet kan worden. Omdat het aantal kilo's organische stof per m<sup>3</sup> mest bij rundvee door het hogere droge-stofgehalte van de mest veelal hoger is (ca. de helft hoger) haalt men in de praktijk ongeveer evenveel gas uit een m<sup>3</sup> rundveemest als uit een m<sup>3</sup> varkensmest.

### 3. FACTOREN DIE VAN INVLOED ZIJN OP HET GISTINGS- TINGSPROCES EN DE GASPRODUKTIE

#### 3.1. Vergistbaarheid van de mest

Zoals al eerder is aangegeven, is de vergistbaarheid van de mest per diersoort verschillend. Bovendien varieert de samenstelling van de mest per diersoort afhankelijk van het rantsoen dat de dieren krijgen en de prestaties die het dier levert (groei of melkproduktie). Als voorbeeld hiervan kan genoemd worden de biogasinstallatie van een bedrijf in Bodegraven dat per m<sup>3</sup> varkensmest 30 m<sup>3</sup> gas produceert (NN 1983) (normaal is ca. 15 m<sup>3</sup>). De oorzaak van deze hoge gasproduktie moet gezocht worden in het voer dat voor een belangrijk deel uit slachtafval bestaat. De geproduceerde mest is daardoor gemakkelijk en volledig afbreekbaar. De vergistbaarheid van de mest kan ook negatief beïnvloed worden door de aanwezigheid van giftige stoffen. In het algemeen is de hoeveelheid ervan min of meer afhankelijk van de diersoort. Zo zijn er gevallen bekend dat het voeren van medicinaal voer aan varkens tot een daling van de gasproduktie leidt (Wenzlaff, 1981). Oriënterend onderzoek van Winter e.a. (1983) heeft aangetoond dat het in de vleesveehouderij veelvuldig toegepaste monensin (handelsnaam Romen-sin) schadelijk is voor de methaanvormende bacteriën. Ook ammoniak-stikstof kan remmend werken op de gasproduktie.

Op de boerderij worden in enkele gevallen chloorverbindingen gebruikt bij de reiniging van de melkwinningsapparatuur. Ook wordt wel formaline toegepast, bijvoorbeeld bij de ontsmetting van klauwen. Wanneer deze stoffen in de mest terecht komen kunnen deze het vergistingsproces negatief beïnvloeden.

#### 3.2. Belasting

Onder belasting wordt hier verstaan : de dagelijks toegevoerde hoeveelheid organische stof per m<sup>3</sup> vergistingsruimte. De dagelijks toe te voeren hoeveelheid organische stof moet afgestemd worden op de hoeveelheid organische stof die dagelijks wordt afgebroken.

De afbraak is afhankelijk van vele (deels nog te noemen) factoren. Al deze factoren te-

samen bepalen de snelheid van afbraak en daarmee de belasting. De belasting resulteert in een bepaalde verblijftijd van de mest. Onder verblijftijd wordt verstaan de berekende tijd dat de mest in de vergistingstank blijft. Hiervoor wordt vrij algemeen een minimum van 10 dagen aangehouden.

Een andere grens die in verband met de belasting wel wordt aangehouden is die van de hoogte van het droge-stofgehalte. Hier wordt een bovengrens van 11 % genoemd (NN 1982).

In de praktijk worden voor koeienmest verblijftijden aangehouden van 20 dagen. Varkensmest wordt iets sneller vergist (15-20 dagen), maar bij kippenmest moeten verblijftijden tot 50 dagen aangehouden worden om te voorkomen dat de hoge ammoniak-stikstof-concentratie het vergistingsproces onmogelijk maakt. Overigens kan ook dit in de toekomst nog veranderen gezien de eerste resultaten die Wenzlaff (1983) met het vergisten van kippenmest heeft bereikt bij verblijftijden van minder dan 20 dagen.

### 3.3. Zuurgraad

Een optimale pH is 7,0 maar in de literatuur wordt aangegeven dat variaties van 6,2 - 7,6 nog niet schadelijk zijn. Overigens varieert bij de meeste biogasinstallaties in de praktijk de pH tussen de 7,5 en 8. De pH is bij normaal gebruik praktisch niet te beïnvloeden. Bij een juiste belasting van de biogasinstallatie treden geen problemen op.

### 3.4. Temperatuur

In principe zijn drie temperatuurtrajecten optimaal voor het vergisten van mest. Ze liggen rond 15° C, tussen 30-35° C en rond 55° C. Vergisten bij 55° C heeft het voordeel dat de vergisting sneller verloopt waardoor de vergistingstank kleiner kan blijven dan bij 30° C. Het proces lijkt bij 55° C echter veel gevoeliger voor allerlei invloedsfactoren. Bovendien is zeer veel energie nodig voor het op temperatuur brengen en houden van de gistende mest. Het vergisten bij lage temperatuur (ca. 15° C) heeft een toenemende belangstelling en wordt hier en daar al praktisch toegepast (Hohlfeld, 1983).

In de praktijk wordt algemeen in het traject van 30-35° C vergist. Daarbij blijkt dat het binnen dit traject niet zoveel uitmaakt welke temperatuur men kiest als men de éénmaal ingestelde temperatuur maar vasthoudt. Het blijkt namelijk dat de bacteriën al gevoelig reageren op temperatuurschommelingen van 2° C en meer (Wenzlaff, 1981).

### 3.5. Roeren

Een aantal punten pleit voor het roeren van de gistende mest. Door het roeren komen de micro-organismen beter in contact met de mest en worden schadelijke tussen- en eindprodukten van het gistingsproces uit de directe omgeving van de bacteriën afgevoerd. Bovendien helpt roeren bij het verminderen van temperatuurverschillen in de gistingstank en voorkomt het dat drijfslagen (bij rundveemest) en bezinklagen (bij varkensmest) ontstaan.

Het roeren heeft echter ook nadelen. Roerapparatuur vraagt een extra investering, kost energie en bovendien wordt vergiste en onvergiste mest met elkaar gemengd. Omdat bij de meeste installaties dagelijks mest aan- en afgevoerd wordt is de kans zeer groot dat bij de afgevoerde mest ook half of niet vergiste mest zit, waardoor een deel van de potentiële gasproductie verloren gaat. Vanwege deze nadelen wordt in Europa en Amerika op bescheiden schaal geëxperimenteerd met niet geroerde biogasinstallaties. Deze installaties staan bekend onder de naam propstroom-systeem. Hoewel deze publikatie een verslag is van onze ervaringen met een propstroom-systeem is het wellicht goed ook iets te vermelden over de buitenlandse ervaringen.

#### 4. BIOGASINSTALLATIES VOLGENS HET PROPSTROOM-SYSTEEM

##### 4.1. Amerika

Op de Cornell-universiteit is in het midden van de jaren 70 veel werk gemaakt van het ontwikkelen van een betaalbare propstroominstallatie voor gezinsbedrijven met melkvee. Uiteindelijk werd gekozen voor een met folie beklede geïsoleerde sleuf in de grond van ca. 35 m<sup>3</sup>. Deze installatie werd 3 jaar lang beproefd, samen met een evengrote installatie die gebouwd was volgens het principe van een rioolzuiveringsinstallatie (geroerd systeem).

Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de gasproductie bij 35° C en een verblijftijd van 15 of 30 dagen in beide gevallen ongeveer 10 % hoger was dan bij het geroerde systeem. De gasproductie was bij 15 dagen verblijftijd voor het propstroom-systeem 2,33 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> vergistingsinhoud per dag en bij het geroerde systeem 2,13 m<sup>3</sup>. Bij 30 dagen verblijftijd waren de cijfers respectievelijk 1,26 m<sup>3</sup> en 1,13 m<sup>3</sup> (Jewell, 1981).

Dit zijn voor Nederlandse begrippen erg gunstige cijfers. Ook werd vermeld dat bij het propstroom-systeem ernstige problemen met drijflagen ontstonden als het droge-stofgehalte van de mest minder dan 8 procent was en de temperatuur 35° C. Hetzelfde euvel deed zich voor als er stro gebruikt werd als strooisel voor de dieren. De problemen traden dan al op bij 11 % droge stof.

Door de temperatuur van de gistende mest tot 25° C te verlagen werd een deel van de problemen ondervangen. Toch wordt geconcludeerd dat propstroom-systemen niet geschikt zijn voor langvezelig materiaal en dat de te vergisten mest minstens 11 % droge stof moet hebben om het propstroom-systeem goed te laten functioneren (Jewell, 1982).

Hoewel de propstroom-biogasinstallatie van de Cornell-universiteit in principe ontwikkeld was voor kleinschalige toepassing is het - voor zover bekend - in Amerika nog niet tot toepassing op kleine praktijkbedrijven gekomen.

Er is echter inmiddels wel een firma

(Energy Cycle Inc. Lincoln, Nebraska) die biogasinstallaties levert die werken volgens het propstroom-systeem, maar deze worden toegepast op grote bedrijven. De firma had tot 1982 op zes bedrijven biogasinstallaties gebouwd die in grootte varieerden van 230 m<sup>3</sup> tot 1360 m<sup>3</sup>. Uit inlichtingen van de firma (Scheller, 1983) kan men afleiden dat een verblijftijd van ongeveer 20 dagen wordt aangehouden. Het geproduceerde gas wordt meestal voor het opwekken van electriciteit gebruikt.

Opvallend is dat de mest voor vergisting eerst wordt opgevangen in een silo waar het gehomogeniseerd wordt en waar het droge-stofgehalte op 10-12 % wordt gebracht. Er wordt niet aangegeven hoe dit gedaan wordt en hoe dit gemeten wordt.

Dat de firma vertrouwen in biogasproductie heeft, blijkt uit het feit dat potentiële gebruikers van de installatie zich kunnen laten verzekeren voor een bepaalde gasproductie. Daarbij biedt de verzekeringsmaatschappij de bezitters van een installatie de mogelijkheid om zich schadeloos te laten stellen als minder dan 30 % van de door de leverancier van te voren geschatte gasproductie wordt gehaald.

##### 4.2. Denemarken

In Denemarken is aan het eind van de jaren 70 een propstroom-biogasinstallatie gebouwd op een melkveebedrijf met ongeveer 150 koeien met bijbehorend jongvee. Deze installatie bestond uit twee vierkante betonnen silo's van 200 m<sup>3</sup> elk. Het gas werd opgevangen door een PVC-zeil dat de bovenkant van de silo afsloot.

De gasproductie van de installatie was aanvankelijk ca. 50 % van wat men ervan verwachtte (Groen, 1981).

Eerst is geprobeerd de gasproductie te verbeteren door een deel van de uitgegiste mest te vermengen met de ingaande mest. Dit had geen effect. Daarna is een onderzoek gedaan naar het stromingspatroon van de mest in de silo's. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in een systeem waarbij de mest langs de randen van de silo in beweging werd gebracht door er via geperforeerde pijpen op de bodem van de tank gas in te blazen (Petersen, 1981). Of

deze verandering het gewenste effect heeft gehad is niet bekend.

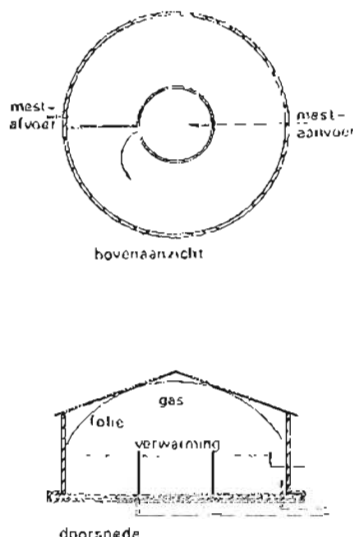
#### 4.3. Duitsland

Kloss (1983) vermeldt dat er in Duitsland 5 bedrijven zijn die met goed resultaat rundveemest vergisten in een propstroom-biogasinstallatie. Onderzoekresultaten van deze bedrijven zijn niet voorhanden. Op de Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft is bij een schaalmodel (5 m<sup>3</sup>) de mogelijkheden van een propstroom-biogasinstallatie onderzocht. Op grond van het onderzoek komt men tot de conclusie dat het droge-stofgehalte van de ingaande mest minstens 9 % moet bedragen om problemen met drijfslagen te voorkomen (Kloss, 1983). Overigens speelt bij het ontstaan van drijfslagen niet alleen het droge-stofgehalte een rol maar ook de grootte van de afzonderlijke deeltjes in de mest.

#### 4.4. Nederland

Voor zover bekend is er in Nederland één biogasinstallatie op een praktijkbedrijf gebouwd, die werkte volgens het propstroomprincipe (zie figuur 1).

Figuur 1 Schema propstroomprincipe



dubbelwandig uitgevoerd en kon daardoor tegelijk voor de verwarming dienen. Doordat in de middelste ring mest werd bijgepompt, steeg het niveau waardoor de mest op één plaats in de buitenste ring kon stromen. In de buitenste ring dreef de mest in enkele weken naar de afvoer. Het gas werd drukloos opgeslagen onder een folie boven de mest (NN 1982).

De installatie werkte al na vrij korte tijd onbevredigend. Bij inspectie bleek er een aanzienlijke drijfslaag aanwezig te zijn. Daarna is deze installatie omgebouwd tot een geroerd systeem.

Bij deze installatie werd verse rundveemest in de middelste ring gepompt. Deze ring was

## 5. BIOGASINSTALLATIE OP DE WAIBOERHOEVE

### 5.1. Inleiding

Bij de beslissing om de mogelijkheden van biogasproductie te onderzoeken hebben een aantal overwegingen centraal gestaan. Uit berekeningen bleek dat biogasproductie met de toen bekende installaties economisch pas interessant werd op zeer grote bedrijven. Bovendien is bij biogasproductie vaak meer dan éénderde van de bruto gasproductie nodig om het proces in stand te houden. Tevens wordt vaak minder dan een derde van de organische stof omgezet in biogas. Deze problemen in overweging nemende is gezocht naar een installatie die bruikbaar en betaalbaar was voor een doorsnee melkveebedrijf en die een relatief hoge gasproductie per m<sup>3</sup> mest combineerde met een relatief lage behoefte aan procesenergie. Om dit doel te bereiken is een biogasinstallatie gekozen die eventueel vrij eenvoudig in een mestkanaal van een ligboxenstal gebouwd kan worden. Hiermee wordt bereikt dat de investeringskosten relatief laag kunnen blijven.

De benodigde procesenergie kan verminderd worden door het roeren achterwege te laten. Hierbij snijdt het mes in principe aan twee kanten : er is geen energie nodig om de gistende mest te roeren en men loopt niet de kans dat half- of onvergiste mest uit de biogasinstallatie wordt gepompt. Bij geroerde installaties gebeurt dit wel. Om ervaring op te doen met de werking van een propstroom biogasinstallatie die gevoed wordt met rundveemest onder praktijkomstandigheden, is op de Waiboerhoeve te Lelystad een dergelijke installatie gebouwd. Deze installatie werd gevoed met mest, afkomstig uit een grupstal. Op deze grupstal waren in de winter ca. 55 melkkoeien gestald. De eerste twee jaar van het onderzoek liepen de koeien in de weideperiode dag en nacht in het land en werden alleen op stal gemolken. Het laatste jaar waren de dieren in de weideperiode een deel van het etmaal opgesteld en werden bijgevoerd met snijmais.

Het lag in de bedoeling om het geproduceerde biogas te gebruiken voor de verwarming van een kantoorgebouw. Zoals uit de rest van het verslag

zal blijken is het niet zover gekomen. De installatie kostte compleet, geïnstalleerd maar zonder mestaanvoerpomp en BTW in 1980 ongeveer f 85.000.

### 5.2. Bouwwijze biogasinstallatie

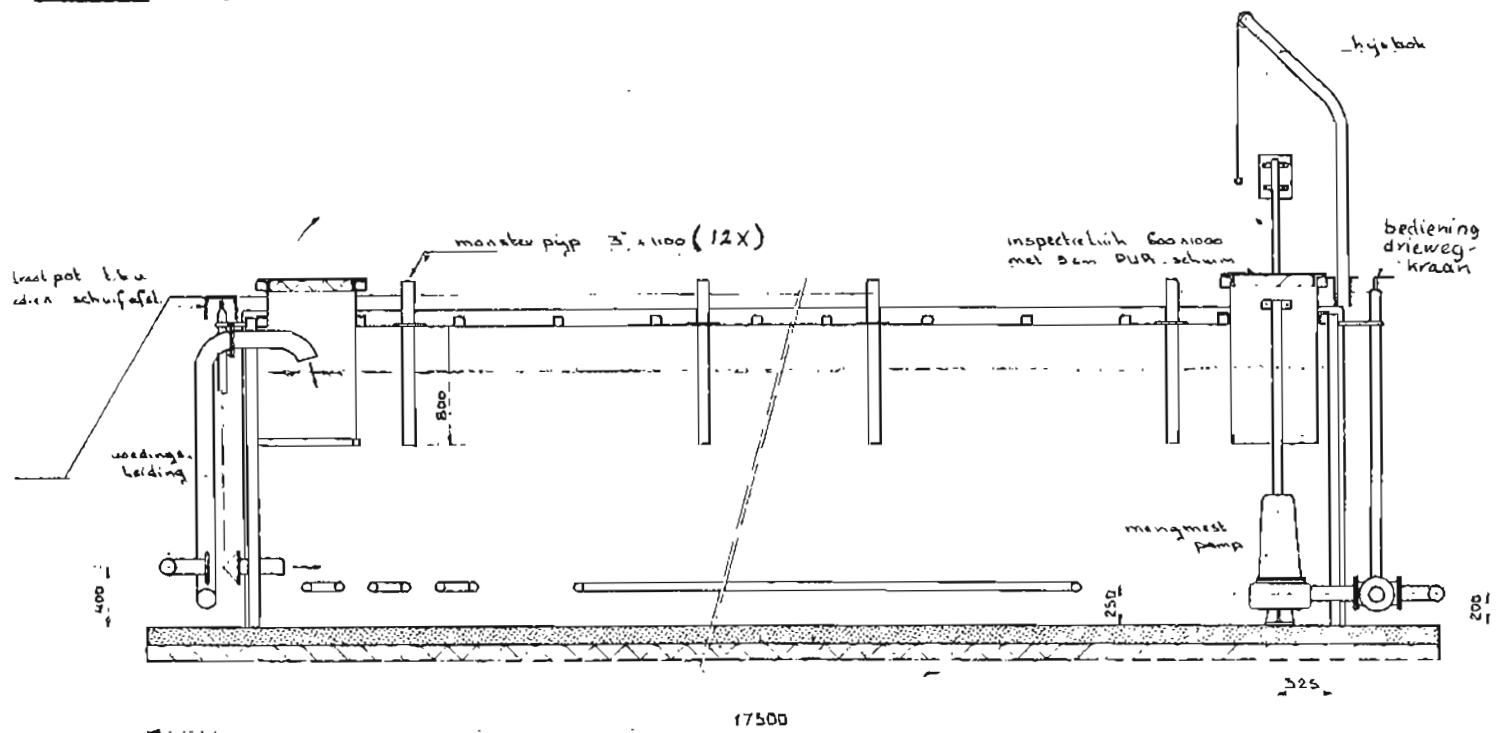
De biogasinstallatie op de Waiboerhoeve bestond uit een schoenendoosvormige stalen tank met de afmetingen van 16 x 3 x 2 meter (zie figuren 2, 3, 4).

De wanden van de tank waren gemaakt van 4 mm staalplaat op een onderlinge afstand van 666 mm (h.o.h.) versterkt met koudgewalste U-profielen van 70 x 70 x 90 x 4 mm. De bovenkant van de tank bestond uit 3 mm plaatstaal versterkt met koudgewalste U-profielen van 60 x 60 x 60 x 4. De fabricage van de tank kon geheel in de fabriek plaatsvinden. Daarbij is geen bodem in de tank aangebracht. Voordat de tank gereed was is op het bedrijf waar de installatie geplaatst werd een betonvloer gestort die iets groter was dan de tank. Deze betonvloer was 12 cm dik en voorzien van een bewapening. De betonvloer was gestort op een 10 cm dikke laag tempex die aan de onderzijde beschermd was tegen vocht door plastic folie. Na transport van de tank van fabriek naar bedrijf is de tank op de betonvloer geschroefd. Daarna is de tank geïsoleerd met 8 cm polystyreen (PS 15) met daarover 3 cm polyurethaan. Over deze isolatielaag is waterbouwfolie aangebracht van 0,5 mm. Daarna is de tank afgedekt met een laag grond (zie foto). Bij de fabricage van de tank waren twaalf monsterpijpen en twee inspectieluiken aangebracht.

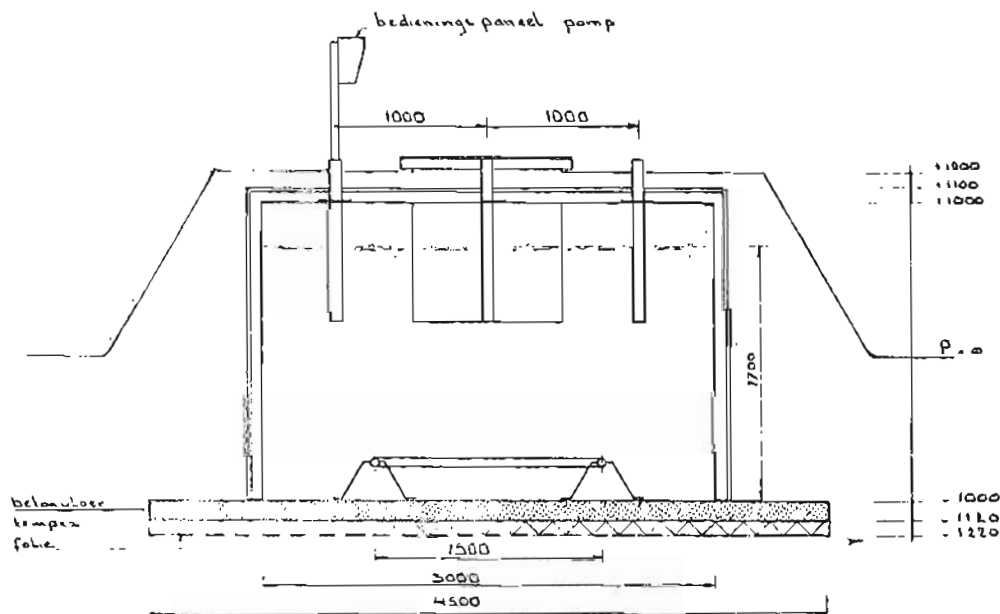
### 5.3. Verwarming

In de vergistingstank waren 2 verwarmingscircuits aangebracht. Ter plaatse waar de (koude) verse mest de tank binnen kwam was een tot een dicht netwerk gebogen verwarmingsbuis op enige afstand van de bodem aangebracht. Deze buis had een doorsnede van 1,5 inch en een lengte van 14 meter. In het overige 2/3 deel van de tank was een leiding aangebracht met een totale lengte van 28 meter en een doorsnede van 1 inch (25 mm). De temperatuur van het verwarmingswater in beide circuits kon

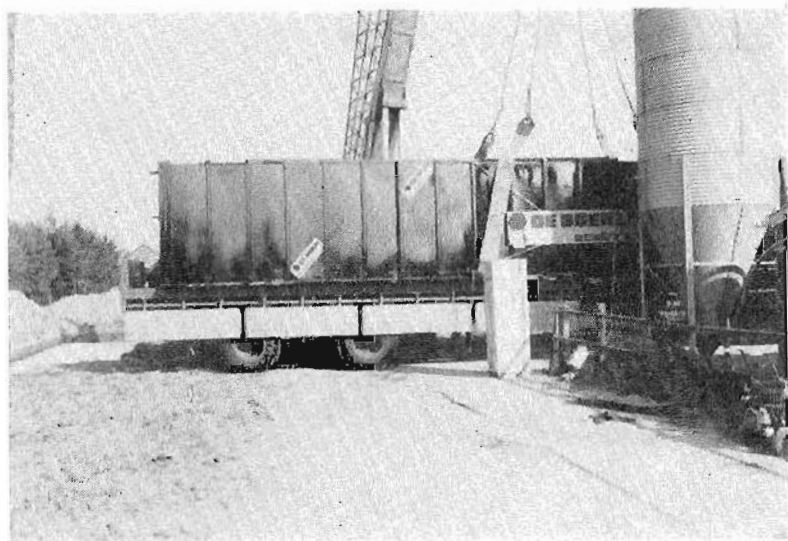
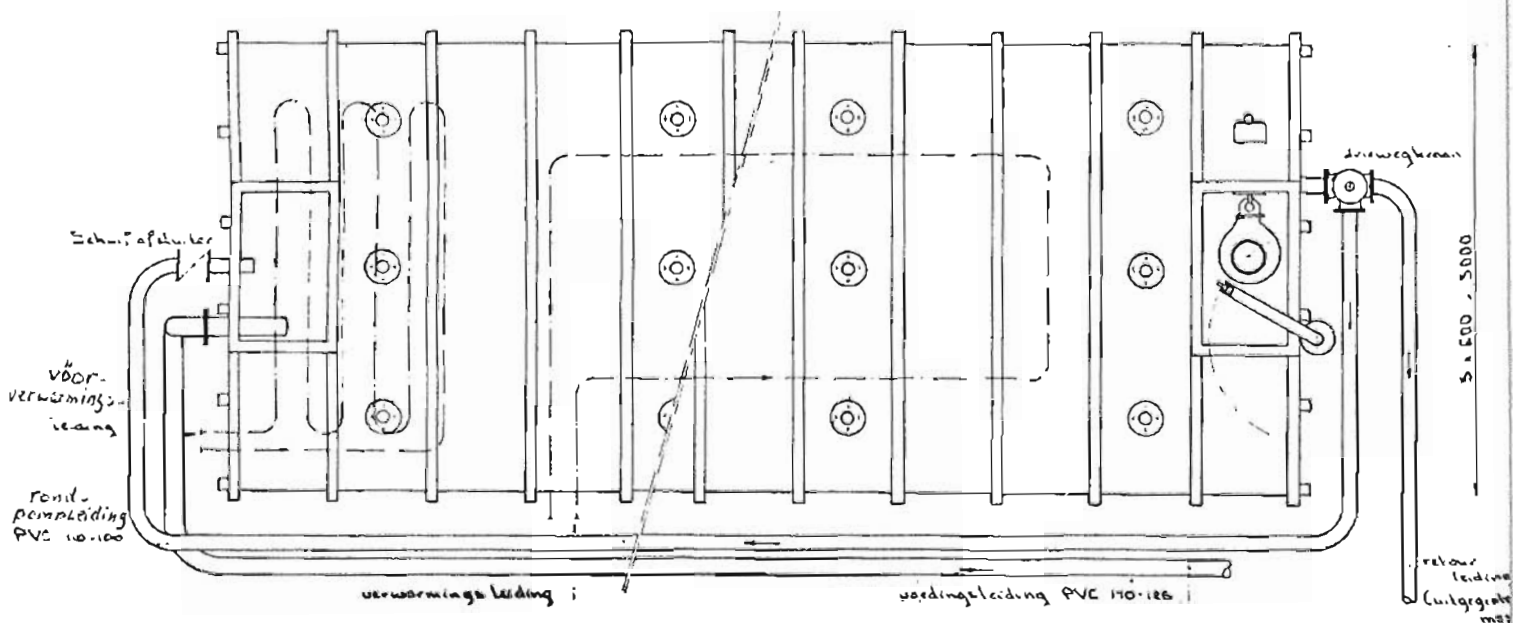
Figuur 2 Langsdoorsnede propstroom-biogasinstallatie



Figuur 3 Dwarsdoorsnede propstroom-biogasinstallatie



**Figuur 4** Bovenaanzicht propstroom-biogasinstallatie



De vergistingstank werd in september 1980 zonder bodem op de Waiboerhoeve aangevoerd en geplaatst op een betonnen plaat (links).

De biogasinstallatie in zijn eerste uitvoering op de Waiboerhoeve. Links de met aarde bedekte vergistingstank, rechts de gevulde gasopslag.



afzonderlijk geregeld worden door temperatuur-regelaars die thermostatisch een klep bedienden.

Als verwarmingsbron werd een normale gas-ketel gebruikt zoals die ook wordt toegepast bij centrale verwarmingssystemen van woonhuizen. Omdat de druk van het biogas (0,5 kPa) veel lager was dan van het aardgasnet moest de spuitstukdiameter bij de branders aangepast worden.

#### 5.4. Rondpompsysteem

Kiezen voor een biogasinstallatie die werkt volgens het propstroom-systeem hield een aantal risico's in. Om deze risico's te beperken is een circulatieleiding aangelegd waardoor het in principe mogelijk was om de inhoud van de tank rond te pompen. Daartoe werd bij de mestafvoerpomp een driewegkraan gemonteerd die aansloot op een PVC-leiding met een inwendige diameter van 100 mm. De circulatieleiding mondde uit vóór in de tank waar een beweegbare spuitmond was gemonteerd.

#### 5.5. Gasopslag

Omdat de produktie van biogas, kwantitatief gezien, zelden gelijke tred houdt met de behoefte aan biogas is een tussenopslag noodzakelijk om een zekere buffervoorraad te hebben. In het algemeen dient de gasopslag zo klein mogelijk te zijn omdat de investering relatief hoog is. Bij de meeste biogasinstallaties wordt een gasopslag gemaakt die de produktie van 1 à 2 dagen kan bevatten.

Bij de biogasinstallatie op de Waiboerhoeve werd een gasopslag aangelegd die bestond uit een zak van kunststof van 100 m<sup>3</sup>.

Deze kunststofzak lag in een passend grondprofiel. Het was de bedoeling de kachel, die zorgde voor de verwarming van de vergistingstank, met biogas te stoken. Omdat voor het transport van het gas een zekere druk nodig is, werd de opslagzak voor het biogas verzwaaard met zakjes zand die bevestigd waren aan de gasopslagzak (zie foto). In principe zou hiermee een druk van 0,5 kPa bereikt kunnen worden. De gasopslagzak werd op zijn plaats gehouden door "slabben" die aan de zak bevestigd zaten en ook in de grond verankerd waren.

#### 5.6. Gastransportsysteem

Bij de opzet van de biogasinstallatie werd gerekend met een gasproduktie van 60-70 m<sup>3</sup> per etmaal. Na aftrek van het gas dat nodig was voor het op temperatuur houden van de gistingstank zou per dag netto 40-50 m<sup>3</sup> gas beschikbaar zijn. Dit gas zou gebruikt worden voor de verwarming van een kantoorgebouw dat op ruim 125 meter van de biogasinstallatie stond. Het gastransportsysteem bestond uit 3 gedeelten, namelijk :

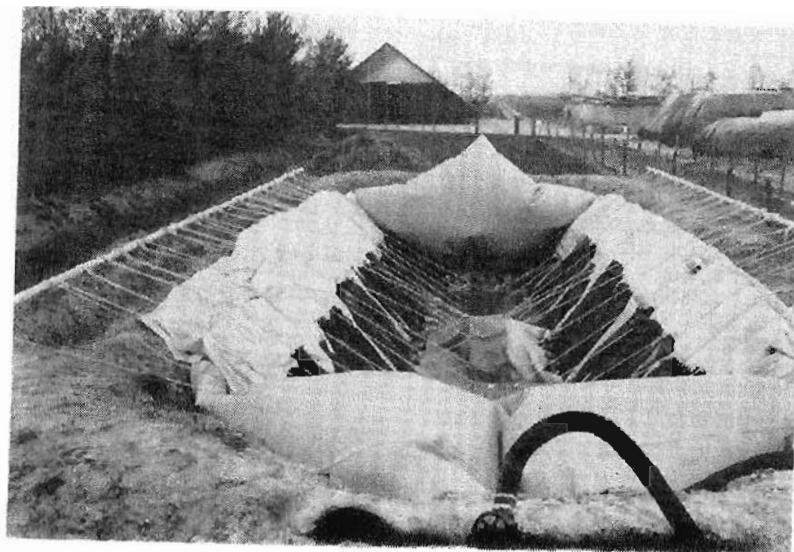
- tussen gistingstank en gasopslag
- tussen gasopslag en kachel voor mestverwarming
- tussen blower en plaats van netto gasverbruik

De transportweg tussen gistingstank en gasopslag was kort (ca. 5 meter) en de benodigde gasdruk ontstond door het gas dat geproduceerd werd door gasvormende bacteriën in de vergistingstank. Bij een druk hoger dan 0,5 kPa kon het gas van de vergistingstank in de opslagzak stromen. Omdat het gas dat uit de vergistingstank stroomt verzadigd is met waterdamp condenseert veel water als het gas daarna afkoelt. Daarom werd tussen de vergistingstank en de gasopslagzak op het laagste punt een condensput gemaakt (figuur 5), die tevens diende als overdrukbeveiliging. Deze condensput moest regelmatig geleegd worden. Voor een goed functioneren zou er eigenlijk een afvoer aan moeten zitten.

Bij het transport tussen gasopslag en kachel werd de gasdruk verkregen door verzwaring van de gasopslagzak met zandzakjes. Vanuit de gasopslagzak stroomde het gas via een 30 meter lange PE (polyethyleen)-leiding met  $\varnothing$  50 mm naar de kachel. Vóór de kachel zat een tweede condensput. Voor de kachel was ook aan de gasleiding een aftakking gemaakt voor het volgende stuk van het gastransport.

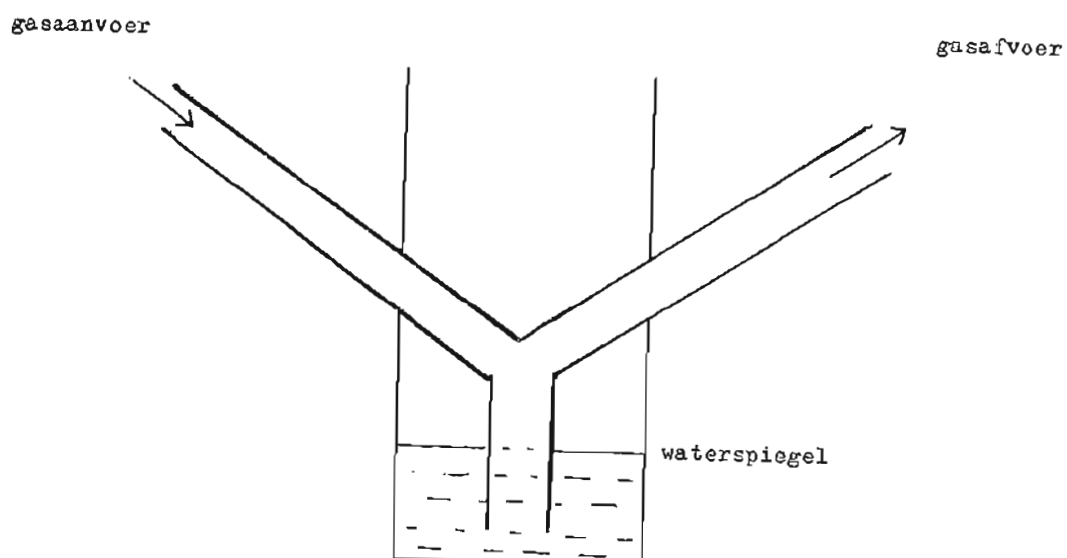
De bedoeling was dat de netto biogasproduktie gebruikt zou worden voor verwarming van een kantoorgebouw op ca. 125 meter afstand. Het gas werd daartoe met een gaspomp (blower) op een druk van 3 kPa gebracht en via een PE-leiding van  $\varnothing$  32 mm getransporteerd.





Zak van kunststof voor de opslag van van het gas. De (zwarte) zandzakjes in het midden zorgden voor de nodige druk op het gras. Omdat ze lekkage veroorzaakten zijn ze later verwijderd.

Figuur 5 Schema condensput



In dit gedeelte van de gasleiding was een H<sub>2</sub>S - filter aangebracht.

Uit de rest van het rapport zal duidelijk worden dat deze leiding nooit is gebruikt, zodat hiermee ook geen ervaringen zijn opgedaan.

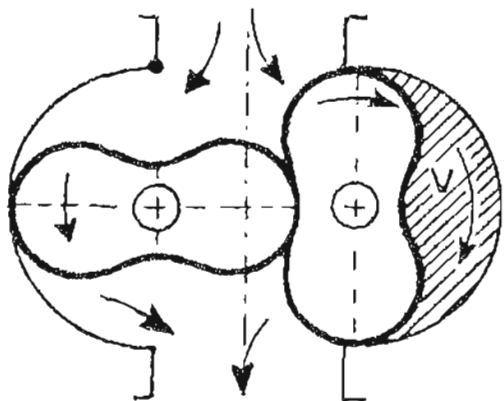
#### 5.7. Mestaanvoersysteem

Bij de meeste mestvergistinginstallaties wordt één of meerdere keren per dag een hoeveelheid verse mest in de vergistingstank gebracht. Om te voorkomen dat de tank overvol raakt dient uiteraard eenzelfde hoeveelheid uit de tank gepompt te worden.

Voor de aanvoer van de verse mest werd gebruik gemaakt van een Vogelsang pomp die werkt volgens het verdringerprincipe (figuur 6). Het voordeel hiervan is dat dit type pomp een vrijwel constante capaciteit heeft.

Figuur 6 Schema van mestpomp zoals die werd gebruikt voor het vullen van de vergistingstank.

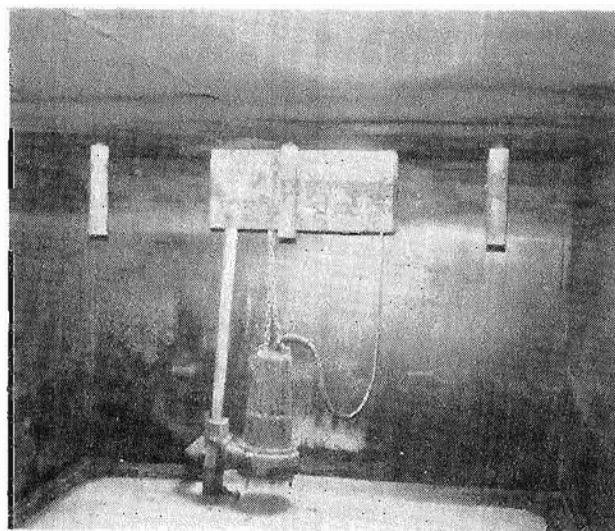
V = volume van de verplaatste mest



Hierdoor was het mogelijk de pomp met een (instelbare) tijd klok te schakelen, zodat bij het inpompen van mest geen toezicht nodig was. De mestaanvoerpomp was geplaatst in een pompput naast de 2-rijige grupstal. Deze put was door een dwarskanaal verbonden met de beide mestgoten. De mest werd via een 55 m lange ondergrondse leiding (PVC) naar de vergistingstank gepompt.

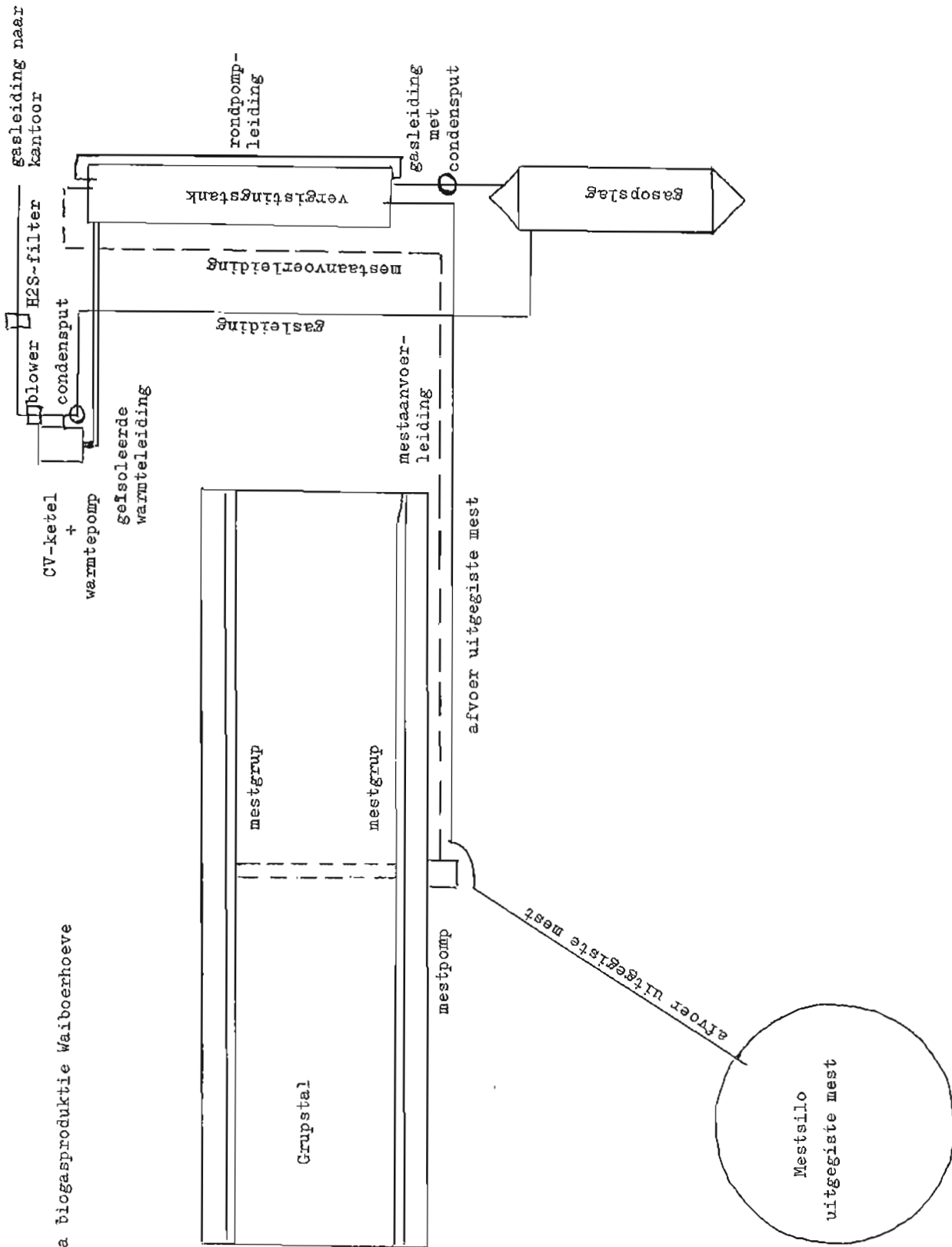
#### 5.8. Mestafvoer

Voor de afvoer van de uitgegiste mest naar de mestopslag werd een ABS-mengmestpomp gebruikt. Deze pomp was geplaatst op de bodem van de vergistingstank en aangesloten op een PVC-leiding (Ø 100 mm inwendig) die uitmondde in een bovengrondse betonnen silo van 300 m<sup>3</sup>. De pomp werd in- en uitgeschakeld door een niveauschakelaar in de vergistingstank. Deze schakelaar bestond uit twee elektroden die, als ze in contact kwamen met de vloeistof, de pomp inschakelden. Door het omzetten van een driewegkraan kon de pomp ook voor het roeren gebruikt worden (zie ook bij rondpompsysteem). Voor onderhoud en reparatie kon de pomp uit de mest gehesen worden door een hijsbok met handler (zie foto).



Een kijkje in de (lege) vergistingstank. Middenonder de pomp voor de mestafvoer; boven drie pijpen waardoor monsters uit de mest werden genomen.

Schema biogasproductie Waiboerhoeve



## 6. HET VERGISTINGSPROCES

### 6.1. Verloop 1980-1981

Na het gereedkomen van de biogasinstallatie is deze eind september gevuld met rundveemest en op temperatuur gebracht. De gasproductie kwam daarna zeer traag op gang. Eind oktober is 15 m<sup>3</sup> mest toegevoegd, afkomstig uit een goed werkende biogasinstallatie die gevoed werd met rundveemest. Daarna is een aantal dagen achtereen geroerd om deze mest goed in contact te brengen met de mest in de vergistingstank.

Door kortsluiting in de niveauschakelaar werd half december de hele inhoud van de vergistingstank ongewild naar de opslagsilo gepompt.

Na deze eerste ervaringen is de vergistingstank eind december gevuld met 60 m<sup>3</sup> gistend slib van de rioolzuiveringsinstallatie uit een naburige gemeente. Bij de 60 m<sup>3</sup> rioolslib werd 20 m<sup>3</sup> rundveemest gevoegd. Daarna werd de inhoud van de tank grondig gemengd. Ook in de volgende 3 weken werd dagelijks enkele uren rondgepompt. De eerste dagen werd een hoge gasproductie bereikt, doch dit moet toegeschreven worden aan de gistingactiviteit van het rioolslib. Al vrij snel daalde de gasproductie echter weer. Omstreeks februari werd ontdekt dat de isolatie van de vergistingstank niet goed meer functioneerde. Omdat ook de overige voorwaarden voor een goed vergistingsproces verre van optimaal waren (zie hoofdstuk 7) is in de loop van mei geen verse mest meer in de vergistingstank gepompt. De zomer van 1981 is gebruikt om de nodige veranderingen aan de vergistingsinstallatie uit te voeren (zie hoofdstuk 8).

### 6.2. Mestanalyse

In bijlage 1 zijn de resultaten weergegeven van de analyse van de ingaande en uitgaande mest en van de gistende mest. Deze analyses zijn uitgevoerd door de Rijks Agrarische Afvalwater Dienst te Arnhem. Het probleem bij de beoordeling van deze cijfers is dat de monsters van de gistende mest niet representatief zijn voor de gehele inhoud van de vergistingstank. Bij de destijds gehanteerde monsternametechniek kon via de monsterpijpen alleen een monster van de bodem van de vergistingstank ge-

nomen worden. Bij een geroerde biogasinstallatie wordt op deze manier wel een representatief monster genomen maar bij een propstroom-systeem zoals toegepast op de Waiboerhoeve is dit niet het geval.

Uit bijlage 1 (kolom indamprest) blijkt dat het droge-stofgehalte van de ingaande mest veel hoger is dan van de gistende mest en de uitgaande mest. Bij de meeste biogasinstallaties is dit ook het geval maar het verschil zal nooit veel meer dan 2 % bedragen. Het grote verschil zoals weergegeven in bijlage 1 duidt erop dat materiaal achterbleef in de vergistingstank. Dit materiaal vormde een drijfslaag, die in de loop van de tijd meer dan een meter dik werd.

De getallen in de kolom "vluchtig vetzuur" geven aan in welke mate de mest is uitgegist. Normaal heeft verse (=ingaande) rundermest een vluchtig-vetzuurgehalte van 150-200 meq/liter. Uitgegist mest heeft een vluchtig-vetzuurgehalte van 30-50 meq/liter. Uit bijlage 1 blijkt dat het vluchtig-vetzuurgehalte van de ingaande en gistende mest vrij normaal is. Dat desondanks de gasproductie veel te laag was werd veroorzaakt door het feit dat het vergistbare materiaal zich verzamelde in de drijfslaag aan de bovenkant, die bij de monsternamen niet meegenomen kon worden.

### 6.3. Mestdosering

De mestdosering is aanvankelijk laag geweest (bijlage 4) om een stabiel gistingproces op gang te brengen. Toen de gasproductie op ongeveer 8-9 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> mest lag, is de mestdosering geleidelijk verhoogd. In april is de mestdosering op het peil gebracht waarop normaal gewerkt zou moeten worden. De gasproductie bleef op een niveau van ca. 8 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> mest. Dit is ongeveer de helft van wat verwacht mocht worden.

Overigens zegt het aantal m<sup>3</sup> gedoseerde mest niet alles over de potentiële gasproductie, omdat het er ook om gaat hoeveel kg vergistbaar materiaal in de mest aanwezig is. Doordat in het begin niet alle geproduceerde mest uit de grupstal vergist werd, duurde het soms enige tijd voordat de mest naar de biogas-

installatie werd gepompt. In die tijd trad er in de grup al ontmenging op waardoor soms mest met enkele procenten droge stof per m<sup>3</sup> werd toegevoegd en dan weer mest van tegen de 10 % droge stof. Hierdoor werd de biogasinstallatie nogal wisselend belast. Een aantal buitenlandse constructeurs van biogasinstallaties passen dan ook een voorbehandelingsruimte toe, waar de mest enkele dagen opgeslagen en gehomogeniseerd kan worden. Ideaal is als de mest ook nog op temperatuur gebracht wordt voordat het in de eigenlijke vergistingstank wordt gebracht.

#### 6.4. Gasproduktie

In bijlage 4 is de gasproduktie in de winter 1980-1981 per etmaal in een figuur weergegeven. In de maanden november, december en januari 1981 was de gasproduktie zeer laag. Begin december is tijdelijk geen meting uitgevoerd. Tot eind januari kon de dagelijkse gasproduktie niet exact gemeten worden. Eind januari is een gasmeter geïnstalleerd in de gasafvoer tussen vergistingstank en gasopslag waardoor wel een exacte meting mogelijk werd. Vanaf begin februari was er een geleidelijke stijging van de gasproduktie. Deze stijging verliep echter zeer langzaam en de gasproduktie, in relatie tot het aantal m<sup>3</sup> toegevoerde mest, bleef nog te laag. Omdat in de loop van de tijd in de vergistingstank een steeds groter wordende drijfslag ontstond, werd het volume waar de vergisting kon plaatsvinden steeds kleiner. Bovendien hoopte een groot deel van de organische stof zich op in de drijfslag. In deze drijfslag waren een aantal procesvoorwaarden (temperatuur en drogestofgehalte) weer zodanig dat hier niet veel gistingsactiviteit verwacht mocht worden. De hier beschreven resultaten waren mede een gevolg van het feit dat de biogasinstallatie technisch niet goed functioneerde. Daarom is in het volgende hoofdstuk beschreven welke gebreken zich in de loop van de eerste winter openbaarden en welke maatregelen toen zijn genomen.

### 7. TECHNISCHE PROBLEMEN

#### 7.1. Isolatie

Al enkele maanden na het in gebruik nemen van de biogasinstallatie bleek dat de isolatie onvoldoende was. Bij nadere inspectie bleek er water aanwezig te zijn tussen de afdekfolie en het isolatiemateriaal en tussen de isolatie en de wand van de vergistingstank. Dit werd gedeeltelijk veroorzaakt door het probleem dat het niet mogelijk bleek de afdekfolie waterdicht vast te maken rondom de monsterpijpen en de inspectieluiken. Een tweede bron van lekkage was de afdekfolie die aan de onderkant op de betonvloer was vastgelijmd. De gebruikte lijm liet al spoedig los waardoor ook grondwater in de isolatie kon dringen.

Tijdens sneeuwval kon goed de loop van de verwarmingsleidingen van de CV-ketel naar de vergistingstank en terug gevolgd worden, ondanks het feit dat deze leidingen toch minstens 0,5 meter onder de grond lagen. Hieruit werd de conclusie getrokken dat het met de isolatie van deze leidingen niet best was gesteld.

#### 7.2. Verwarming

Al direct na het vullen met mest bleek dat het niet mogelijk was de mest gelijkmatig te verwarmen. Het op de bodem van de tank aangebrachte verwarmingscircuit verwarmde de mest in de onderste lagen meer dan voldoende maar er vond onvoldoende warmteuitwisseling plaats met de bovenste lagen van de tank. Hierdoor konden temperatuurverschillen in de tank ontstaan van 35° C onder in de tank tot 28° C boven in de tank. Bij biogasinstallaties met roerders worden dergelijke temperatuurverschillen geëlimineerd, maar bij een propstroomstelsel gebeurt dat uiteraard niet.

Buitenlands onderzoek (Orth, 1981) bevestigt de ervaringen op de Waiboerhoeve. Volgens de resultaten van dit onderzoek zijn de warmteoverdrachtscijfers van mest niet vergelijkbaar met die van water. Dit geldt in het bijzonder als de mest niet geroerd wordt.

De CV-ketel die voor de verwarming van de vergistingstank zorgde, werd aanvankelijk afwisselend met biogas en propaangas gestookt.

Bij het stoken van biogas vervuilde de ketel zeer snel. Het reinigen van met name de warmte-wisselaar was een moeizaam karwei en lukte eigenlijk nooit volledig. In de loop der tijd zette zich op de branders een soort kalkachtige aanslag af, die de branders tenslotte geheel verstopte. De vervuiling van de kachel werd mogelijk bevorderd doordat met een ketelwater-temperatuur van 60° C werd gewerkt. Een hogere temperatuur kan in deze gunstig werken.

#### 7.3. Rondpompsysteem

Enkele maanden na het begin van het experiment met de biogasinstallatie was reeds een dikke drijfslag in de vergistingstank gevormd. Het bleek niet mogelijk deze met het bestaande rondpompsysteem te doorbreken. Daardoor kon de inhoud niet gehomogeniseerd worden.

#### 7.4. Gasopslag

Al vrij snel nadat de biogasinstallatie in gebruik was genomen bleek de gaszak lek te zijn. Met name de manier van verankeren in de grond en de bevestiging van de zakjes zand aan de gaszak veroorzaakten de problemen. Op de plaats van bevestiging van de slabben en de zandzakjes scheurde de kunststof zak waardoor het gas ontsnapte.

#### 7.5. Gastransportsysteem

Het gastransportsysteem tussen vergistingstank en gasopslagzak veroorzaakte geen problemen, maar wel de gasleiding tussen opslagzak en de CV-kachel die voor de verwarming van de tankinhoud zorgde. Deze gasleiding verstopte keer op keer door condenswater, ondanks het feit dat er twee condensputten in de gasleidingen aangebracht waren en de leiding op voldoende afschot lag.

#### 7.6. Mestafvoer

Ongeveer een maand nadat de biogasinstallatie in gebruik was genomen ontstond kortsluiting in de niveauschakelaar. Omdat dit in een weekend gebeurde, werd het niet tijdig opgemerkt waardoor de hele inhoud van de vergistingstank naar de opslagsilo werd gepompt.

### 8. VERANDERINGEN

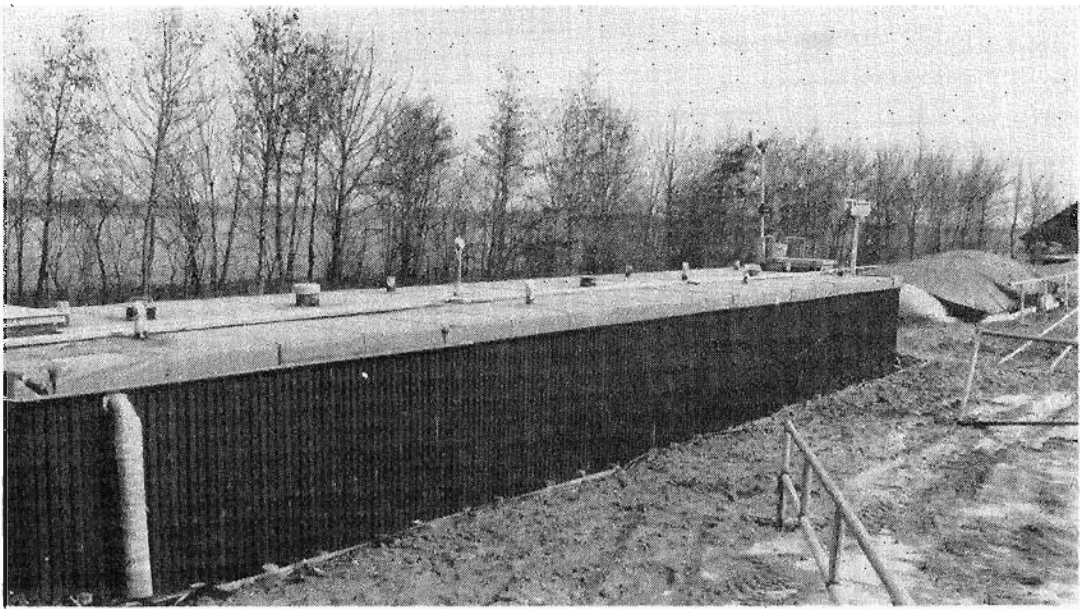
#### 8.1. Isolatie

Omdat het niet mogelijk bleek met de afdekfolie een waterdichte isolatie te krijgen, werd besloten de manier van isoleren grondig te wijzigen. Daartoe werd het gronddek van de vergistingstank verwijderd en tevens de afdekfolie en de 3 cm polyurethaan. De nat geworden stukken polystyreen werden vervangen door de vrijgekomen polyurethaan. Daarna werd de tank (behalve de bovenkant) geïsoleerd met 7 cm polystyrol (Roofmate) zodat het grootste deel van de isolatie bestond uit 8 cm polystyreen en 7 cm polystyrol. Omdat het niet te verwachten was dat de betonvloer, waar de vergistingstank op gemonteerd was, nog voldoende geïsoleerd was werd de bodem van de vergistingstank aan de binnenkant geïsoleerd. De isolatie werd daarna tegen vocht beschermd door profielblik aan de zijkant van de tank en dakleer aan de bovenkant (zie foto). De isolatie die op de bodem was aangebracht werd niet beschermd. Deze isolatie lag dus in feite in de mest. Volgens de fabrikant (Dow Chemical Company) is geëxtrudeerd polystyrol niet hygroscopisch waardoor het zijn isolerende eigenschappen behoudt in een vochtige omgeving.

De aan- en afvoerleidingen van het verwarmingswater werden vervangen door leidingen zoals die bij stadsverwarmingssystemen worden gebruikt.

#### 8.2. Verwarming

Vanwege het feit dat in de vergistingstank grote temperatuurverschillen voorkwamen en er kennelijk een geringe warmteuitwisseling tussen de mest onderling plaatsvindt, werd besloten het verwarmend oppervlak van het verwarmingssysteem te vergroten. Daartoe werd de bestaande ringleiding van 1 inch (25 mm) buis aangebracht op een hoogte van ca. 75 cm boven de bodem. Op ca. 25 cm boven de bodem werd een tweede verwarmingsleiding aangebracht van 2 inch (50 mm) buis. Door deze verandering steeg het verwarmend oppervlak van 3,9 m<sup>2</sup> naar 9,6 m<sup>2</sup> (zie foto). Het probleem van een sterk vervuilde CV-ketel kon niet opgelost worden.



Omdat het isolerende materiaal rondom de vergistingstank nat werd, is de grond ervan verwijderd en aan de zijkanten vervangen door metalen profielplaten en aan de bovenkant door een bitumineuze afdeklaag.

Daarom werd het verwarmingscircuit aangesloten op een inmiddels beschikbaar gekomen stallucht-warmtepomp waardoor de CV-ketel in feite overbodig werd. De CV-ketel werd daarna als reserve achter de hand gehouden. In het stalseizoen 1981-1982 moest-door storingen aan de stallucht-warmtepomp - vrij vaak de CV-ketel gebruikt worden. Aan het eind van het stalseizoen was de kachel zodanig door corrosie aangetast dat deze niet meer gerepareerd kon worden.

### 8.3. Rondpompen

Bij het oorspronkelijke systeem van rondpompen mondde de uitstroomopening van de rondpompleiding uit op de bodem van de tank. Deze uitstroomopening kon weliswaar gericht worden via een beweegbare uitstroomopening maar toch werd de indruk gekregen dat bij rondpompen alleen het onderste deel van de vergistingstank geroerd werd. Daarom werd de uitstroomopening ongeveer één meter omhoog gebracht waarbij de mogelijkheid verviel om de uitstroommond te bewegen.

### 8.4. Overige veranderingen

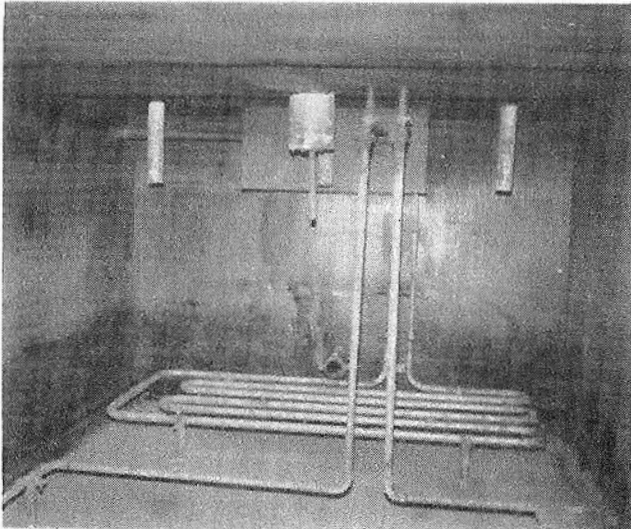
Bij het bestaande systeem kwam de verse mest aan de bovenkant de vergistingstank binnen. De indruk werd gekregen dat dit de drijf-laagvorming bevorderde en bovendien een ongunstige invloed had op temperatuurschommelingen in de tank omdat enkele keren per dag een hoeveelheid koude mest werd bijgepompt. Daarom werd op 1,5 meter van het begin van de tank een schot dwars in de tank aangebracht die tot op 0,75 meter van de bodem reikte. Hiermee werd bereikt dat een ruimte werd gecreëerd waar de mest op temperatuur werd gebracht en waardoor de mest gedwongen werd onder in de eigenlijke vergistingsruimte te beginnen.

Het bestaande systeem van gastransport tussen gasopslagzak en de blower verstopte herhaaldelijk. Daarom is deze leiding opgegraven en daarna op 5 % afschot gelegd. Daarbij is er vooral veel aandacht geschonken aan het tegengaan van plaatselijke verzakkingen in deze gasleiding.

Al vrij snel na het in gebruik nemen trad lekkage op aan de gaszak. Omdat soortgelijke problemen optraden op andere praktijkbedrijven

is bsloten het systeem van "gasopslag - onderdruk" te verlaten.

Bij de nieuwe uitvoering werd geen belasting van de gasopslagzak toegepast. Het transportsysteem van het gas werd zodanig veranderd dat het gas uit de gasopslagzak werd "gezogen" door de blower. Dit betekende dat bij gebruik van de CV-ketel als verwarmingsbron de blower dag en nacht in bedrijf moest blijven.



Verwarmingsbuizen in de vergistingstank. Omdat hiermee de mest ongelijkmatig werd verwarmd, zijn later ook buizen aangebracht halverwege de hoogte van de tank.

## 9. RESULTAAT VAN DE VERANDERINGEN

### 9.1. Isolatie

De isolatie heeft na de veranderingen weinig problemen meer gegeven. De stalluchtwarmtepomp, die een (verwarmend) vermogen van ongeveer 12 KW heeft, kon de inhoud van de vergistingstank vrijwel permanent goed op temperatuur houden. Alleen bij aanhoudende strenge vorst daalde de temperatuur in de vergistingstank, maar dit was vermoedelijk een gevolg van een teruglopend verwarmingsvermogen van de stalluchtwarmtepomp.

De afdekking van de bovenkant van de vergistingstank met een bitumineuze afdeklaag voldeed minder goed. Na 1,5 jaar liet de aanhechting van het materiaal rond de monsterpijpen los waardoor toch weer de kans bestond dat regenwater in de isolatie drong. Wellicht mede als gevolg hiervan trokken de onderliggende isolatieplaten krom, waardoor de afdeklaag onder spanning kwam te staan.

### 9.2. Verwarming

Na het vergroten van het verwarmend oppervlak zijn geen problemen meer opgetreden met temperatuurverschillen in de vergistingstank, mede dank zij het feit dat het verwarmingswater nooit warmer hoefde te zijn dan 45° C. Deze lage temperatuur is inherent aan het gebruik van de vanaf 1981 toegepaste stalluchtwarmtepomp. Overigens is het werken met een dergelijk lage temperatuur gunstig voor het vergistingsproces omdat de levensvoorwaarden voor de methaanvormende bacteriën in de directe omgeving van verwarmingsbuizen gunstiger zijn dan wanneer bijvoorbeeld met water van 80° C wordt verwarmd.

Het gebruik van de stalluchtwarmtepomp is aanvankelijk niet zonder problemen geweest, waardoor de temperatuur van de vergistende mest soms onaanvaardbaar veel wisselde. Na de nodige veranderingen functioneerde hij echter naar behoren.

### 9.3. Rondpompen

De veranderingen aan het rondpompsysteem waren niet succesvol. Het bleek niet mogelijk



de inhoud van de vergistingstank te homogeniseren nadat een drijfslag was ontstaan. De dwars in de tank aangebrachte plaat werkte in dat opzicht ook ongunstig omdat de snelheid van de rondgepompte mest er door werd afgeremd.

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat rondpompsystemen alleen toepasbaar zijn als ze gebruikt worden om homogene mest homogeen te houden. Als noodvoorziening om drijfslagen te breken in een biogasinstallatie met propstroomstelsel heeft het niet voldaan.

#### 9.4. Gastransportsysteem

De veranderingen aan de gasleidingen hadden als resultaat dat verstoppingen vrijwel niet meer voorkwamen. De blower die voor het aanzuigen en op druk brengen van het gas moest zorgen, leek geen grote weerstand te hebben tegen het agressieve biogas. Ondanks het feit dat de blower relatief weinig gebruikt werd, traden er toch storingen op met name aan lagers en afdichtingen. Hierdoor trad gaslekage bij de blower op.

#### 9.5. Gasopslag

Nadat de belasting in de vorm van zandzakken was verwijderd, trad er geen lekkage van de zak meer op. Wel bleek dat de zak zeer goed verankerd moet wezen om storm te weerstaan. Aanvankelijk was dit niet het geval, waardoor de zak tijdens een storm zwaar werd beschadigd (zie foto).

Naderhand is een nieuwe zak geplaatst die verankerd werd door een afdekzeil dat aan grondankers was vastgemaakt. De zak is nog eenmaal weggewaaid maar zonder ernstige gevolgen. Het bleek dat de ankers onvoldoende in de grond vastzaten om de kracht van de wind te weerstaan.

Overigens bleek het wel nodig een vorm van drainage onder de gasopslagzak te hebben omdat bij veel regen de gasopslagzak op de gevormde plassen ging drijven. Beschadiging waardoor lekkage op de aansluiting van gasaanvoer en -afvoer is dan niet denkbeeldig.

#### 9.6. Mestaanvoerpomp

Eigenlijk kan men zeggen dat alleen de keuze van de mestaanvoerpomp direct een schot in de roos is geweest. Deze pomp heeft altijd naar tevredenheid gewerkt. Dat dit hier vermeld wordt is gelegen in het feit dat in de praktijk vaak problemen voorgekomen zijn bij mestaanvoerpompen, vooral die welke met een versnijder zijn uitgerust. Versnijdende pompen zijn nodig als in de mest stro en voerresten voorkomen. Overigens wordt de Vogelsang-pomp op de Waiboerhoeve ook voor andere doeleinden gebruikt (onder andere mest verragenen). Daarbij blijkt dat deze pompen gevoelig zijn voor harde voorwerpen in de mest (stukjes hout, stenen, enz.) waardoor soms hoge reparatiekosten ontstaan.



Tijdens een storm werd de gaszak zwaar beschadigd.

## 10. MESTVERGISTING IN 1981-1982

### 10.1. Verloop

Na het gereedkomen van de veranderingen is de biogasinstallatie in november 1981 gevuld met 60 m<sup>3</sup> rundveemest en 20 m<sup>3</sup> van de inhoud die bewaard was gebleven toen het experiment in mei werd gestaakt. Deze 20 m<sup>3</sup> uitgegiste mest werd toegevoegd om te voorkomen dat in de opstartfase de inhoud van de vergistingstank door een overmaat aan voeding zou "verzuren".

Nadat de mest op temperatuur was gebracht kwam de gasproductie langzaam op gang. Helaas functioneerde de stalluchtwarmtepomp die voor de verwarming van de mest moest zorgen aanvankelijk niet goed waardoor het bijna een maand duurde voordat de mest een temperatuur van 29° C had. De CV-ketel die als reserve achter de hand werd gehouden vervuilde bij het gebruik van biogas als brandstof zeer snel, waardoor de ketel herhaaldelijk uitviel. Zoals reeds eerder beschreven is, werd - na de veranderingen - het gas aangevoerd door een blower. De blower begon in de loop van de winter steeds ernstiger te lekken waardoor in maart niet meer met de CV-ketel kon worden gewerkt. Hierdoor is de temperatuur van de vergistingstank gedaald tot 25° C.

Na april waren de problemen met de temperatuurschommelingen achter de rug. Kort daarop gingen de koeien dag en nacht de wei in, waardoor het probleem ontstond dat er onvoldoende mest voorhanden was.

Daarom werd mest aangevoerd vanaf een ander bedrijf. Omdat op de grupstal twee keer daags de koeien op stal gemolken werden moest nogal veel water gebruikt worden voor reiniging van de gangen waarover de koeien aan- en afgevoerd werden. Dit water kwam in de mest terecht waardoor het droge-stofgehalte daalde en de ontmenging van de mest sterk werd bevorderd.

### 10.2. Mestanalyse

In bijlage 2 zijn de resultaten weergegeven van de analyse van de mest. Aan de hand van de cijfers van de indamprest blijkt ook nu weer dat het droge-stofgehalte van de mest in de vergistingstank erg laag was. Dit duidt er (weer)

op dat een deel van de droge stof in de vergistingstank achterbleef in de vorm van een drijfslaag.

Zoals uit de kolom "vluchtige vetzuren" blijkt waren de getallen gemiddeld iets hoger dan in het jaar daarvoor. Dit duidt er op dat het vergistingsproces minder goed verliep, ondanks alle wijzigingen en verbeteringen die aan de installatie waren aangebracht.

### 10.3. Mestdosering

De mestdosering (bijlage 5) is aanvankelijk laag gehouden om een stabiel gistingsproces op gang te brengen. In februari is de mestdosering verhoogd, maar dit resulteerde in een te hoog vluchtig-vetzuurgehalte van de uitgaande mest (bijlage 2). Daarop is de mestdosering verminderd maar dit had niet het gewenste resultaat. Daarop is de dosering tijdelijk gestaakt om het vluchtig-vetzuurgehalte te laten dalen. Eind april gingen de koeien naar buiten waardoor onvoldoende mest beschikbaar kwam. Daarop werd van tijd tot tijd mest van elders aangevoerd, maar desondanks moest soms tijdelijk de mestdosering onderbroken worden. Dat dit alles de ontwikkeling van een stabiel gistingsproces niet bevordert heeft zal duidelijk zijn. Na augustus is het experiment gestaakt omdat de drijfslaagvorming in de vergistingstank zulke grote problemen gaf dat ingrijpende verandering nodig was.

### 10.4. Gasproductie

De gasproductie is weergegeven in bijlage 5. Hieruit blijkt dat de gasproductie per etmaal lager was dan het jaar daarvoor. De oorzaak moet ook nu weer gezocht worden in de vorming van drijfslagen. In de tijd gezien kwamen ook wel temperatuurverschillen voor maar het negatieve effect hiervan is waarschijnlijk toch kleiner dan van de drijfslagen. De gemiddelde gasproductie bedroeg 6-7 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> mest.

### 10.5. Gewijzigde opzet

Omdat het ontstaan van drijfslagen kennelijk onvermijdelijk was, is gezocht naar een mogelijkheid om dit probleem te omzeilen. De gemakkelijkste oplossing was uiteraard het afzien

van het propstroom-systeem en overgaan op een systeem met roerder. Daarmee zou echter een van de belangrijkste doelstellingen van het onderzoek zijn weggevallen. Daarom werd besloten de biogasinstallatie te "voeden" met mest die geen drijfslagen vormt. Zoals al eerder aangegeven is door Jewell (1982) ontstaan bij mest met een hoog droge-stofgehalte geen drijfslagen. Het leek echter geen zinvolle zaak te zoeken naar een methode om het droge-stofgehalte van de mest op 11 à 12 % te krijgen omdat dit voor de praktijk toch niet uitvoerbaar is.

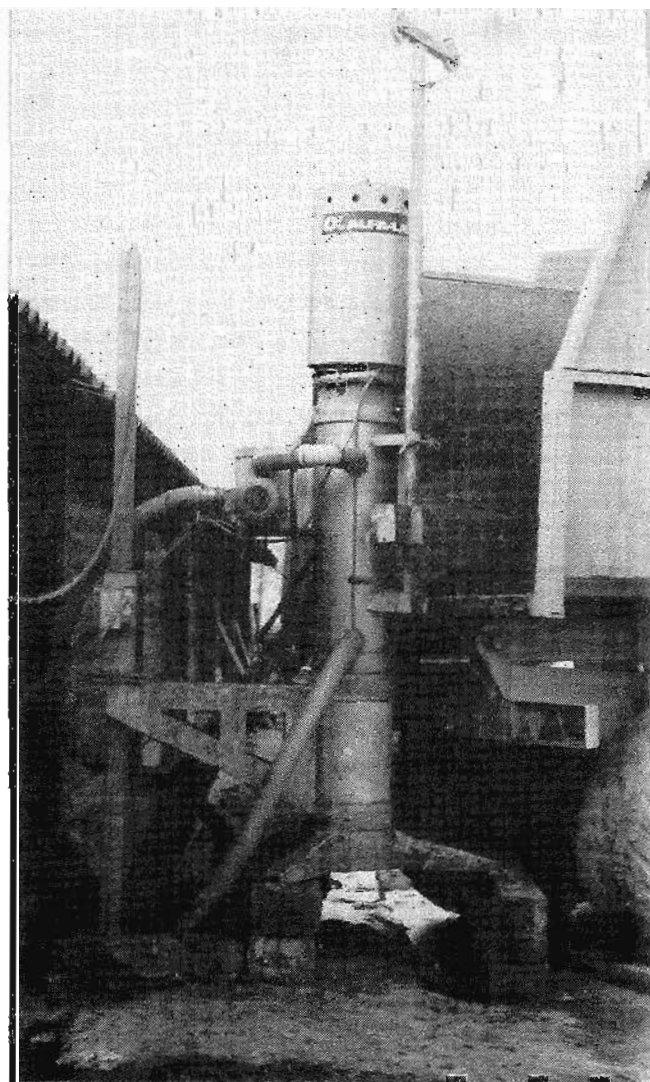
Rundveemest die door een mestscheider is bewerkt wordt gesplitst in een vloeibaar deel met ca. 6 % droge stof en een vaster deel met ca. 20 % droge stof. Het vloeibare deel heeft als eigenschap dat het geen drijfslagen vormt. Dit zou in principe dus goed passen in een propstroom-biogasinstallatie.

#### 10.6. Buitenlandse ervaringen

Voor zover bekend zijn er geen ervaringen met het vergisten van gescheiden mest op praktijkschaal. Rorick (1980) heeft op laboratoriumschaal wel enkele experimenten uitgevoerd. Daaruit wordt geconcludeerd dat bij het vergisten van het dunne deel van de mest uit de mestscheider de gasproduktie per eenheid organische stof even hoog of hoger is. Tevens is minder energie nodig voor mengen en verpompen.

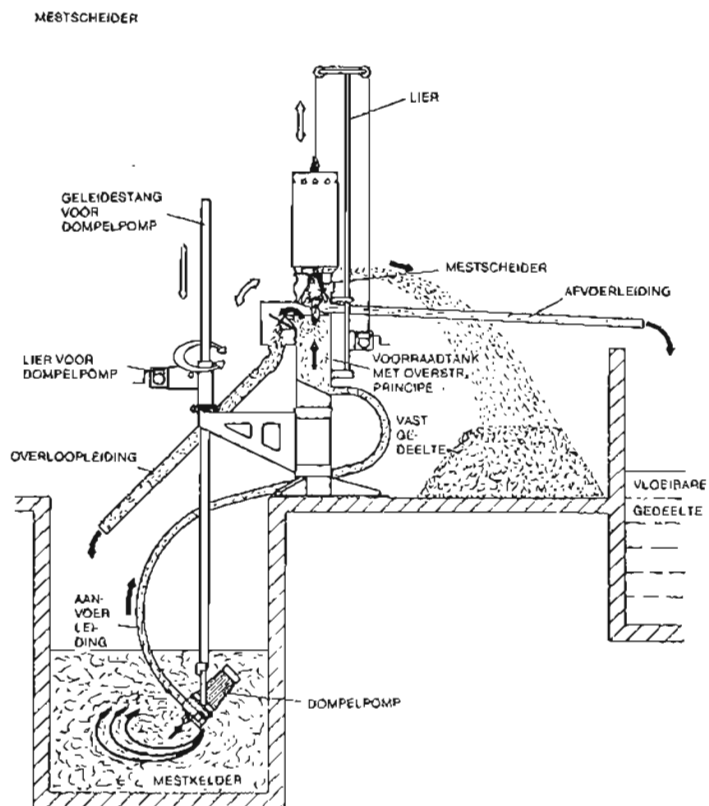
#### 10.7. Uitvoering op de Waiboerhoeve

De mest op de Waiboerhoeve werd gescheiden met een Lisep-mestscheider (figuur 7 en foto) die in de plaats kwam van de mestaanvoerpomp. Het voordeel van deze mestscheider is dat deze relatief compact gebouwd is en dat alle functies (mengen van de mest, oppompen, scheiden en weg-pompen van het dunne deel) in één apparaat verenigd is. Een nadeel is dat het dikke deel van de mest nogal ver weggeslingerd wordt waardoor voorzieningen nodig zijn om dit op te vangen. Op de Waiboerhoeve werd dit gedaan door er een afgedankte scheepscontainer naast te zetten. De mestscheider werd door een tijdsklok ingeschakeld en had een capaciteit van rond de 3,5 m<sup>3</sup> per uur. De scheider heeft, afgezien van enkele storingen, technisch goed gefunctioneerd. Hij bleek echter bij vorst wel te kunnen bevriezen.



De mestschneider verdeelde de mest in een vast en vloeibaar deel. In het laatste jaar werd dit systeem toegepast omdat bij het vergisten van de vloeibare mest geen drijfslag werd gevormd.

Figuur 7 Mestscheider zoals toegepast op de Waiboerhoeve



## 11. VERLOOP MESTVERGISTING 1982-1983

Alvorens met de vergisting van het dunne deel van de gescheiden mest te beginnen is de vergistingstank leeggepompt en de drijfslag zoveel mogelijk verwijderd. Het deel onder de drijfslag werd apart gehouden en later samen met de gescheiden mest in de vergistingstank gepompt. De gasproductie kwam daarna zeer traag op gang en stabiliseerde zich op een te laag niveau. Er waren geen noemenswaardige technische problemen. Ook de verwarming via de stallucht-warmtepomp verliep vrijwel probleemloos.

### 11.1. Mestanalyse

In deze periode van het onderzoek is de mest frequenter geanalyseerd. Uit de cijfers blijkt (bijlage 3 kolom "indamprest") dat de verschillen in droge-stofgehalte tussen ingaande, gistende mest en uitgaande mest aanzienlijk zijn verminderd. In deze zin heeft het mestscheiden dus aan zijn doel beantwoord. Overigens werd in dit laatste jaar ook een andere monsternametechniek toegepast, waardoor de inhoud van de hele tank bereikt werd en niet alleen de bodem.

Bij beschouwing van de kolom  $\text{NH}_4\text{-N}$  valt op dat de ammoniakgehalten van de mest tot mei ongewoon hoog waren en dat daarna deze waarden weer op een normaal niveau zijn teruggebracht. Overigens is de grens, waarboven het ammoniakgehalte schadelijk is voor methaanvormende bacteriën, uit de literatuur niet eenduidig. (Baader (1978) noemt een grens van 1500 mg/liter en Van Velzen (1981) geeft aan dat het vergisten van mest bij hogere ammoniakconcentraties wel mogelijk is mits de bacteriepopulatie de tijd heeft om zich aan te passen aan het hoge ammoniakgehalte. Dergelijke aanpassingen duren 2-3 maanden. Hoge ammoniakconcentraties verhogen de pH. Bij beoordeling van de analysecijfers blijkt dat ook. Of dit aanleiding is geweest voor de lage gasproductie is niet bekend. Vast staat wel dat in de tijd dat de hoge ammoniak-stikstofconcentraties gemeten werden de vergistingsactiviteit gering was, gezien het hoge vluchtig-vetzuurgehalte van de uitgaande mest.

In de loop van de zomer verbeterde de situatie ten aanzien van het ammoniakgehalte aanzienlijk. In deze periode kon ook een geleidelijke verbetering van de gasproductie geconstateerd worden, wellicht mede doordat de laatste maanden de tankinhoud één keer per week geroerd werd met het rondpompsysteem. Dit rondpompsysteem kon in tegenstelling tot vroeger nu wel gebruikt worden omdat geen drijfslag meer in de vergistingstank voorkwam.

### 11.2. Mestdosering

In bijlage 6 is weergegeven hoeveel m<sup>3</sup> mest dagelijks aan de vergistingstank is toegevoegd. Aanvankelijk was de mestdosering gering om een stabiel vergistingsproces op gang te brengen. Gezien het vluchtig-vetzuurgehalte (bijlage 3) van de uitgaande mest lukte dit maar slecht. In de tweede helft van februari moest de mestdosering tijdelijk onderbroken worden omdat de mestscheider bevroor. Daarna is de mestdosering zodanig geweest dat een verblijftijd van 40 dagen gehandhaafd werd. Dit werd gedaan in een poging de methaanvormende bacteriën te laten wennen aan het hoge ammoniakgehalte in de mest.

Om de methaanvormende bacteriën een handje te helpen is begin juni 15 m<sup>3</sup> gistende varkensmest toegevoegd uit een installatie die werkt bij een hoog ammoniakgehalte. In de loop van juli bleek de  $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentratie in de gistende mest op een vrij normaal niveau te liggen. Daarop is de dagelijkse mestdosering verhoogd. Daar was echter wel een limiet aan omdat de koeien maar 8 uur per etmaal op stal stonden, waardoor de mestproductie ook naar verhouding kleiner was.

### 11.3. Gasproductie

Nadat de mest op temperatuur gebracht was, bewoog de gasproductie zich op een te laag niveau (bijlage 6). Met name in de maanden maart, april en mei was de gasproductie ontmoedigend laag. Nadat begin juni gistende varkensmest was toegevoegd steeg de gasproductie vrij snel maar nam daarna ook weer af. Hoogstwaarschijnlijk was deze "oprisping" te danken aan de gistingsactiviteit van de

varkensmest. In augustus en september werden de procesvoorwaarden geleidelijk beter, waardoor een behoorlijke stijging in gasproductie kon worden geconstateerd.

Het is dan ook jammer dat het onderzoek begin oktober beëindigd moest worden op een moment dat het er op leek dat de vergistingsactiviteit op een goed niveau kwam te liggen. De beslissing om met het onderzoek te stoppen was al in mei genomen op grond van de overweging dat de ervaringen met de propstroom-biogasinstallatie zodanig waren dat navolging in de Nederlandse praktijk onwaarschijnlijk zou zijn.

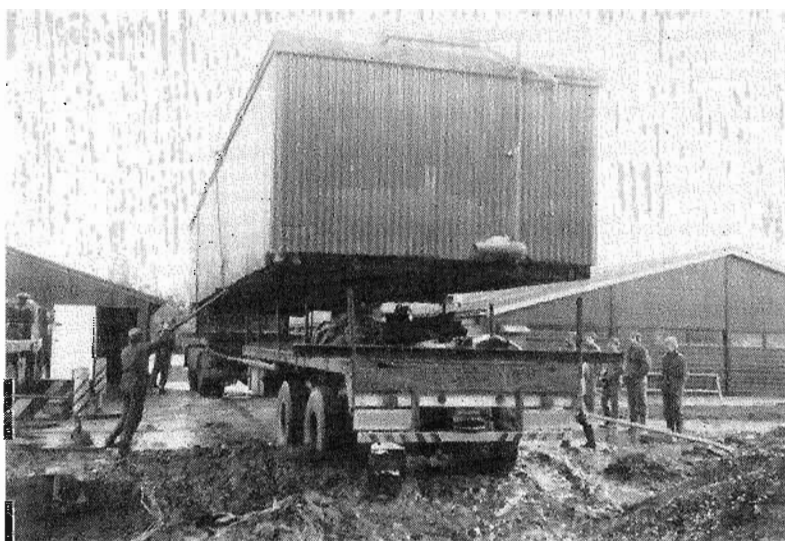
Omdat er aanwijzingen waren dat de moeilijkheden met varkensmest minder groot zijn, is de biogasinstallatie naar het varkensproefbedrijf te Sterksel overgebracht zodat het onderzoek in gewijzigde vorm toch kon worden voortgezet.

#### 11.4. Laboratoriumonderzoek

Om na te gaan of rundveemest met een hoog ammoniakgehalte en afkomstig van de mestscheider wel geschikt was om te vergisten, werden door de afdeling waterzuivering van de Landbouwhogeschool te Wageningen twee proeven opgezet.

Bij proef I werd ingaande mest van de biogasinstallatie van de Waiboerhoeve geënt met uitgaande mest van de biogasinstallatie. Bij proef II werd ingaande mest van de biogasinstallatie van de Waiboerhoeve geënt met mest van een andere proef. De bacteriën in deze mest waren gewend aan een vrij hoog ammoniakgehalte (4500 mg/liter).

Bij beide proeven heeft de mest bij 30° C 33 dagen gelegenheid gehad om gas te produceren. In die tijd is dus geen nieuwe mest toegevoegd (zogenaamde batchvergisting). Na 30 dagen is de installatie in beide proeven gevoed met ingaande mest van de Waiboerhoeve en daarna is nogmaals 30 dagen vergist. Uit het verloop van de gasproductie werd geconcludeerd dat de gasproductie bij proef I weliswaar lager is dan bij proef II maar dat de mest van de Waiboerhoeve in principe wel geschikt was om te vergisten.



In 1983 werd de biogasinstallatie verplaatst van de Waiboerhoeve naar het varkensproefbedrijf te Sterksel voor de vergisting van varkensmest.

## 12. ECONOMISCHE BENADERING

De complete installatie met bijbehorende gasopslag kostte bij oplevering ongeveer f 85.000,-- (excl. BTW). Deze prijs op zichzelf is niet zo interessant. Uiteindelijk gaat het er om wat met deze investering kan worden verdiend. Anders gezegd : hoeveel mag er geïnvesteerd worden, wil er sprake zijn van een rendabele investering. Voor het beantwoorden van deze vraag hangt het er helemaal vanaf waarvoor het biogas wordt gebruikt.

Als biogas wordt gebruikt ter vervanging van een andere brandstof, dan hangt het van de soort brandstof af hoeveel het biogas waard is. Dat staat in het volgende overzicht.

Prijzen van brandstoffen en vergelijkbare waarden van biogas bij vervanging.

Energie	Prijs in 1984 (afgerond)	Waarde van biogas bij vervanging
Aardgas	f 0,60/m <sup>3</sup>	f 0,38
Huisbrandolie	f 0,95/liter	f 0,55
Propaan	f 0,75/liter	f 0,63
Electriciteit	f 0,25/kWh	f 0,38

Als biogas gebruikt wordt als brandstof voor een motor die een generator aandrijft waarmee electriciteit wordt opgewekt dan is 1 m<sup>3</sup> biogas ongeveer f 0,38 waard (1 m<sup>3</sup> biogas levert 1,5 kWh). Het voordeel van electriciteitsopwekking is dat de warmte die bij de koeling van de motor vrijkomt weer gebruikt kan worden voor het verwarmen van de mest in de vergistingstank.

Electriciteitsopwekking kost echter f 25.000-40.000 extra. Het voordeel is dat electriciteit vrijwel het hele jaar door op een melkveebedrijf gebruikt wordt, dit in tegenstelling tot de andere brandstoffen. Wanneer geen warmte van de motorkoeling gebruikt kan worden dan moet ongeveer 25-30 % van het geproduceerde gas gebruikt worden om de mest in de vergistingstank op temperatuur te houden.

Biogasinstallaties in de orde van grootte zoals die op de Waiboerhoeve gebouwd is, kostten in 1980 ongeveer f 1.000,-- per m<sup>3</sup> vergistingsruimte. Bij 15 % jaarkosten zijn de kosten per m<sup>3</sup>

vergistingsruimte dan f 150,--. Dit betekent dat per m<sup>3</sup> vergistingsruimte al voor minstens f 150,-- gas geproduceerd moet worden, wil er sprake zijn van een rendabele exploitatie. In de praktijk ligt deze grens wat lager omdat tot op heden forse subsidies op biogasinstallaties worden gegeven.

Het aantal m<sup>3</sup> biogas dat voor een redabele produktie per m<sup>3</sup> vergistingsruimte geproduceerd moet worden bij de verschillende soorten brandstof, is als volgt.

Soort brandstof om te vervangen	Te produceren m <sup>3</sup> biogas
Aardgas	395 + 30 %
Huisbrandolie	275 + 30 %
Propaan	240 + 30 %
Electriciteit	395

De getallen bij aardgas, huisbrandolie en propaan moeten met ca. 30 % verhoogd worden omdat dit nodig is voor het op temperatuur houden van de vergistingstank. Deze getallen worden dan respectievelijk 565, 395 en 345 m<sup>3</sup> gas per m<sup>3</sup> vergistingsruimte. Goed werkende biogasinstallaties produceren ongeveer 1 m<sup>3</sup> biogas per m<sup>3</sup> vergistingsruimte per dag. Dit betekent dat alleen bij vervanging van huisbrandolie en propaan op korte termijn uitzicht bestaat op rendabiliteit. Bij electriciteit ligt dit al moeilijker omdat daarvoor een extra investering nodig is.

Voorwaarde voor een rendabele exploitatie is wel, dat de biogasinstallatie het hele jaar in bedrijf blijft, dat er het hele jaar voldoende en goede mest aanwezig is en dat het geproduceerde gas het hele jaar nuttig gebruikt kan worden. Met name aan deze laatste drie voorwaarden kan op dit moment op zeer weinig bedrijven voldaan worden.



### 13. NABESCHOUWING

Drie jaar ervaring met een propstroom-systeem lijkt op het eerste gezicht voldoende om een uitspraak te doen over de toepassingsmogelijkheden van het systeem. Men moet echter bedenken dat een deel van deze tijd niet aan onderzoek besteed kon worden. In het eerste jaar heeft de installatie van mei tot november niet gewerkt vanwege de vele veranderingen die aangebracht moesten worden. In het tweede jaar kon de zomerperiode slechts gedeeltelijk benut worden omdat de koeien dag en nacht in de weide liepen waardoor er te weinig mest aanwezig was. In het laatste jaar van onderzoek vloeiden de slechte resultaten waarschijnlijk voort uit het hoge ammoniakgehalte in de mest in combinatie met een hoge pH en was de invloed van de soort biogasinstallatie minder van belang.

Het lijkt evenwel toch nuttig om naast de al vermelde resultaten nog enkele opmerkingen te maken over het vergisten van mest volgens het propstroom-systeem.

De biogasinstallatie op de Waiboerhoeve heeft nooit goed gewerkt maar is eigenlijk in de aanloopfase blijven steken. Daardoor kon moeilijk nagegaan worden of in een goed werkende biogasinstallatie door de gistingsactiviteit zoveel "leven in de brouwerij" ontstaat dat de noodzaak van mixen achterwege blijft. Het lijkt dan ook aanbevelenswaardig een biogasinstallatie altijd uit te rusten met een goed werkend roer-systeem.

Bij het propstroom-systeem wordt dagelijks verse mest aan de ene zijde in de vergistingstank gebracht. Deze mest is koud (omgevingsluchttemperatuur). Hierdoor ontstaan in het eerste deel van de vergistingstank bij het voeden vaak grote temperatuurverschillen waardoor de procesvoorwaarden verre van optimaal blijven. Bovendien varieert de ingebrachte mest in droge-stofgehalte en mede daardoor varieert ook de kwaliteit van de te vergisten mest. Het lijkt daarom zeker de moeite waard om te onderzoeken of mest die vergist gaat worden eerst "behandeld" moet worden. Deze behandeling zou

moeten bestaan uit het homogeniseren en op temperatuur brengen van de te vergisten mest.

Bij een propstroom biogasinstallatie wordt dagelijks een hoeveelheid uitgegiste mest weggepompt die rijk is aan organismen die een rol spelen bij de biogasproductie. Aan het begin van de vergistingstank wordt dagelijks een hoeveelheid verse mest ingebracht waar deze organismen zich nog moeten ontwikkelen. Het lijkt daarom logisch een deel van de uitgegiste mest te vermengen met ongegiste mest, om te voorkomen dat belangrijk bacteriemateriaal verloren gaat. Dit is technisch wel te realiseren maar gaat gepaard met investeringen of extra arbeid. Wellicht is de noodzaak van terugvoeren van bacteriemateriaal minder aanwezig als de afmetingen van de vergistingstank goed worden gekozen. Jewell (1982) noemt een optimale lengte-breedteverhouding van 4:1 maar geeft ook aan dat het effect van andere afmetingen niet bekend is. Bij genoemde afmetingen zou er in de vergistingstank nog voldoende uitwisseling kunnen plaatsvinden. Ter herinnering: de lengte-breedteverhouding van de installatie op de Waiboerhoeve was 5,3:1.

Het zou interessant zijn na te gaan waarom het vergisten van mest volgens het propstroom-systeem wel lukt in Amerika (en daar ook op praktisch schaal wordt toegepast) terwijl dit in Europa met veel meer moeilijkheden gepaard gaat. De invloed van een hoog droge-stofgehalte (11-13 %) in de mest zou hierbij centraal moeten staan.

Het vergisten van mest wordt wel vergeleken met de manier waarop een koe van voer melk maakt. Bedacht moet worden dat na vele jaren veevoedingsonderzoek nog niet precies bekend is welke invloed de verschillende voersoorten en de samenstelling ervan hebben op de produktie van de koe. Bovendien is het nog niet in details bekend hoe het produktiepotentieel van een koe maximaal benut kan worden.

Het onderzoek rond de biogasproductie staat in vergelijking tot het veevoedingsonderzoek zowel wat omvang als tijdsduur betreft nog in



de kinderschoenen. Wanneer het onderzoek in de komende jaren wordt voortgezet zal men ongetwijfeld meer inzicht kunnen krijgen in de details van de procesvoorwaarden van biogasproduktie.

#### SUMMARY AND CONCLUSIONS

At the end of the 70's interest rose in production of biogas by means of digestion of organic waste. With the aim to evaluate the value of biogas production on dairy farms a biogas plant operating according the plug flow-system was erected on the experimental farm Waiboerhoeve, Lelystad, Holland.

With the plug-flow system slurry is pumped in at one side of the holding tank and pumped out at the apposite side. So the content of the holding tank is not stirred because the slurry is supposed to move little by little in the direction of the outlet. The advantage of this system is that the net-energy yield is higher because there is no energy required for stirring. Besides that 'it is supposed that the digestion of the slurry would be better because non-digested and digested slurry are not mixed. Otherwise non-digested or half digested slurry are pumped out of the digestion tank.

The holding tank at the Waiboerhoeve was partly under the ground. The tank (shape of a shoebox) could contain 80 m<sup>3</sup> slurry. This is enough to digest the slurry of 60 cows. Walls and top were made of steel and the bottom of concrete. Of course the holding tank was insulated. In the tank heating pipes were installed to keep the slurry at a temperature of 32° C. After the start of the digestion process in 1980 soon many problems emerged so that many changes had to be carried out. However these changes were not successful. Especially floating layers caused many problems.

Experiences in foreign countries have shown that these layers don't occur if the dry matter percentage of the slurry is above 12. Under Dutch circumstances cattle slurry mostly has 7-9 percent dry matter. An other way to prevent floating layers is to separate slurry mechanically in solid and liquid fractions. The liquid part of the slurry does not form layers. In 1983 the liquid part was digested. However also these experiments were not successful probably because of a combination of a high pH level and a high ammonia content. Because operating a plug flow digester caused to many

problems and the bad economic prospects for biogas production on family dairy-farms it was decided to stop the experiments. We arrived at the following conclusions.

- When planning a digester much attention must be paid to conditions that influence biogas production. Everything should be designed so that the conditions for digestion are the best.
- Because slurry is mostly digested at temperatures above the outside temperature the digestion tank should be insulated very well. When choosing insulation material, much attention must be paid to the insulating characteristics under wet conditions because it is inevitable that on the long run moisture will affect the insulation.
- When calculating how much heating capacity is needed in the digestion tank it is necessary to know what temperature of heating water will be used.
- When the content of the digestion tank is not stirred it is necessary that the heat-pipes are placed throughout the tank. Otherwise temperature differences in the tank will occur.
- Mixing the content of a horizontal digestion tank is not possible by means of a pump that can not build sufficient pressure. Especially when floating layers exist no good results can be expected.
- It can be necessary to take good samples of the digesting slurry. When planning a digester this should be born in mind. Especially plug flow systems are not easy to sample.
- When slurry is used for biogas production it should be as homogeneous as possible. When cattle slurry has to be digested after storage period it is necessary to mix it thoroughly before it can be put in the digestion tank.
- It should be avoided to dilute cattle slurry by adding waste-water from the milk parlour. Slurry diluted with water builds up floating layers more easily and besides that it can produce less biogas per m<sup>3</sup> slurry.
- Cattle slurry that is put into a malfunctioning plug-flow biogas plant quickly builds up floating layers by which a vicious circle is made. Breaking this vicious circle was not possible during experiments on the Waiboerhoeve.
- Using biogas in not adapted apparatuses causes problems. If it is used in ordinary CV-boilers the experience was that this boiler becomes filthy very quickly. It also caused much corrosion. Perhaps running the boiler at a temperature of the heating water of 60° C has increased problems.

LITERATUURLIJST

1. Baader, W., E. Dohne, M. Brenndörfer (1978).  
Biogas in Theorie und Praxis, KTBL  
Schrift 229, Kuratorium für Technik und  
Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt  
BRD.
2. Hohlfeld J., C. Zimmermann (1983).  
Kostenreduzierung durch individuelle System-  
lösungen aus der Sicht eines Ingenieurs-  
büros.  
2. Fachgespräch 1982. Biogas Institut  
für Technologie der Bundesforschungsan-  
stalt für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig.
3. Jewell W.J., R.M. Kabrick, S.Dell, Orto,  
K.J. Fanfoni, and R.J. Cummings (1981).  
Earthen-supported plug flow reactor for  
dairy applications. Department of Agricul-  
tural Engineering, Cornell University,  
Ithaca, New York.
4. Jewell W.J., B.A. Adams, B.P. Eckstrom,  
K.J. Fanfoni, R.M. Kabrick, D.F. Sherman  
(1982).  
The feasibility of biogas production on  
farms. Department of Agricultural Engineering  
Cornell University Ithaca New York.
5. NN (1982).  
Biogas op veebedrijven. Toepassingsmogelijk-  
heden en perspectieven.  
IMAG publikatie 176, Wageningen.
6. NN (1983).  
Ik moet zelfs gas de lucht in laten vliegen.  
Boerderij, 68, no. 41 (13 juli).
7. Orth, H.W. (1981).  
Bestimmungen von Kennzahlen zur Wärme-  
übertragung bei Flüssigmist, Grundlagen  
der Landtechnik Bd 31, nr. 2.
8. Rorick M.B., S.L. Spahr, M.P. Bryant (1980).  
Methane Production from Cattle Waste in  
Laboratory Reactors at 40° and 60° C.  
After Solid - Liquid Separation, Journal  
of Dairy Science 63.
9. Scheller W.A. (1983).  
Commercial experience with a plug flow  
anaerobic digester for the production of  
biogas from agricultural and food processing  
wastes in: Energy from biomass : 2nd E.C.  
Conference/ed. by A. Strub, P. Chartier  
and G. Schlesser.  
Applied Science Publishers, London and  
New York.
10. Velsen, A.F.M. van (1981).  
Anaerobic digestion of piggery waste,  
Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen.
11. Wenzlaff R. (1981).  
Erfahrungen mit Biogas im praktischen  
Betrieb, KTBL Schrift 266, Kuratorium für  
Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft  
Darmstadt.
12. Wenzlaff R. (1983).  
Leistungen einer Biogasanlage bei Hühner-  
gülle unter verschiedenen Betriebszustände.  
2. Fachgespräch 1982 Biogas, Institut für  
Technologie der Bundesforschungsanstalt  
für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
13. Winter J., U. Temper, R. Hilpert, A. Steiner  
und O. Kandler (1983).  
Biogaspotential, Prozess-stabilität und  
Hygienisierung bei der mesophilen und ther-  
mophilen Vergärung von Schlämmen.  
2. Fachgespräch 1982 Biogas, Institut für  
Technologie der Bundesforschungsanstalt  
für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig.
14. Kloss R. (1983). Personenlijke mededeling.

# Bijlage 1 Analyseresultaten van de mest in 1980-1981

Datum monstername	Soort monster	Ammonium (NH <sub>4</sub> -N) mg/l	pH	Indamprest g/kg	Gloeirest van indamprest %	Vl. vetzuur mg/l
24-10	gistende mest	2390	7,9	29,6	30,9	78
	idem	2410	7,8	29,5	31,5	79
10-11	idem	2490	8,1	30,2	38,5	44
	idem	2700	8,1	43,5	33,7	45
1-12	idem	2550	8,0	26,9	39,6	31
1-12	idem	2610	8,0	26,6	39,6	28
22-12	idem	1104	7,4	62,0	-	26
12-1	ingaaende mest	2570	7,8	103,3	-	144
	gistende mest	1460	7,6	54,8	43,5	158
9-2	ingaaende mest	2715	7,8	80,3	-	143
	gistende mest	2075	7,6	37,9	-	47
	gistende mest	2050	7,6	37,5	-	41
2-3	gistende mest	2290	7,9	41,2	40,1	56
27-3	gistende mest	2460	7,8	42,6	36,9	88
	gistende mest	2440	7,9	40,0	38,2	80
	gistende mest	2390	7,8	38,4	38,8	53
13-4	ingaaende mest	2160	7,4	93,9	-	210
	uitgaande mest	2340	7,8	31,3	-	63
4-5	gistende mest	2675	7,8	42,5	34,8	165
	gistende mest	2604	7,6	41,6	34,5	96
25-5	gistende mest	2399	7,8	35,1	-	136

# Bijlage 2 Analyseresultaten december 1981 - september 1982

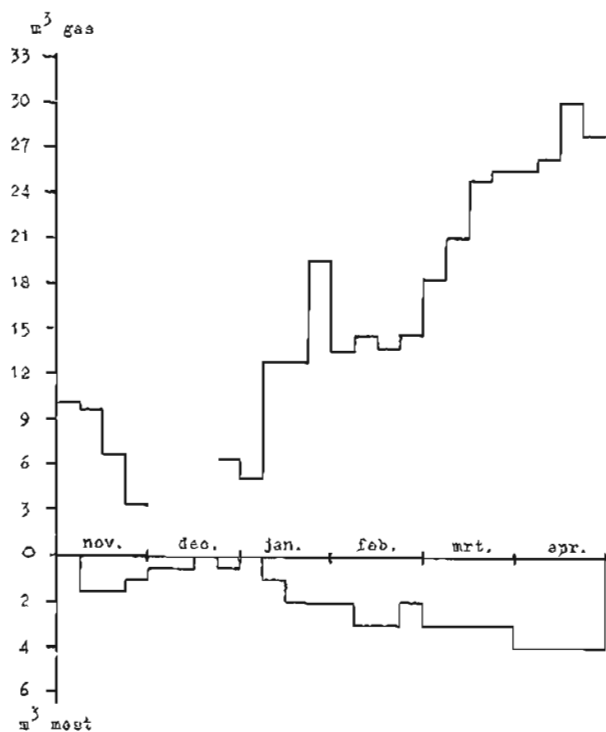
7-12	gistende mest	1910	7,7	24,6	39,6	29
9-1	gistende mest	1750	7,7	19,8	44,9	25
1-2	gistende mest	2280	7,9	21,8	41,4	41
24-2	uitgaande mest	2970	7,6	28,3	38,3	99
4-3	gistende mest	2800	7,6	31,7	38,0	116
10-3	gistende mest	2840	7,5	36,4	31,8	131
25-3	gistende mest	2980	7,6	34,6	-	142
1-4	gistende mest	3140	7,6	56,3	-	143
7-4	gistende mest	3040	7,6	58,7	-	140
27-4	ingaaende mest	1720	7,4	26,3	35,6	106
	gistende mest	3000	7,8	38,4	37,2	85
24-8	gistende mest	2580	7,8	79,8	28,9	53
24-8	uitgaande mest	1310	7,5	25,7	31,3	68
16-9	ingaaende mest	1751	7,3	36,2	27,9	143
	gistende mest	1636	7,6	45,1	27,7	68

# Bijlage 3 Analyseresultaten december 1982 - augustus 1983

10-12	ingaaende mest	3690	7,4	73,0	27	168
	uitgaande mest	2660	8,2	58,0	27	95
19-12	ingaaende mest	3820	8,3	47,9	-	169
27-12	ingaaende mest	3210	7,8	60,0	31,5	147
27-12	uitgaande mest	3130	7,8	53,0	32,5	125
4-1 '83	ingaaende mest	4260	8,5	52,1	-	153
	uitgaande mest	2330	7,7	27,3	-	88
24-1	ingaaende mest	3860	8,3	80,8	31,2	170
	uitgaande mest	3550	8,0	55,5	33,7	113
31-1	ingaaende mest	3910	8,3	88,9	-	177
	uitgaande mest	3540	8,2	57,7	-	109
2-2	gistende mest	3510	8,1	107,0	-	97
	gistende mest	3650	8,0	72,5	-	135
	gistende mest	3620	8,0	61,5	-	127
8-2	ingaaende mest	4010	8,5	70,9	31,1	172
	uitgaande mest	3640	8,1	67,0	33,0	117
23-3	gistende mest	2840	8,3	57,3	33,1	weinig
21-4	gistende mest	4000	8,3	32,9	38,2	weinig
26-5	gistende mest	3520	8,2	47,8	33,5	weinig
7-7	ingaaende mest	1490	7,7	17,0	-	ca. 100
	gistende mest	2580	8,1	39,6	-	weinig
	uitgaande mest	2740	8,3	43,5	36,6	weinig
27-7	gistende mest	2730	8,1	39,5	36,5	weinig
10-8	gistende mest	2215	7,7	28,9	31,9	ca. 100
22-8	ingaaende mest	2010	7,8	28,5	32,1	ca. 75
	gistende mest	2110	7,7	32,0	31,7	ca. 60
	uitgaande mest	2350	7,7	30,3	33,2	ca. 75

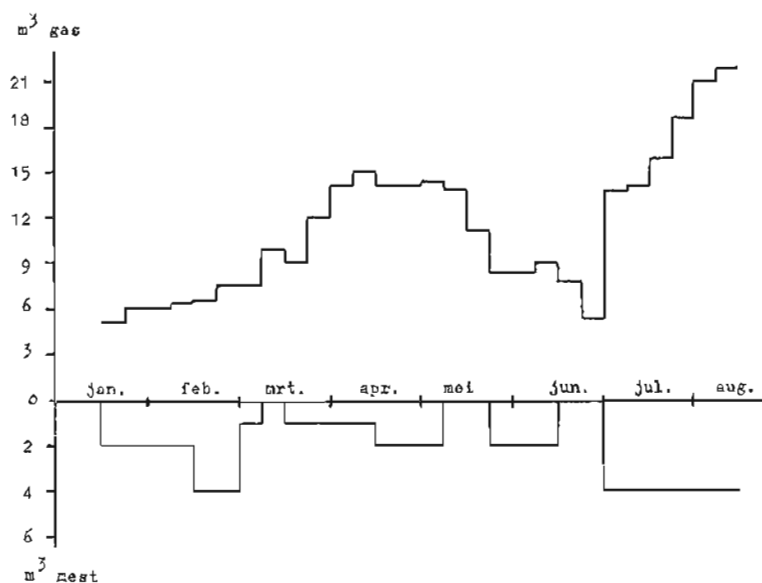
NB weinig =< 25

Bijlage 4 Mestaanvoer en gasproduktie per etmaal van november 1980 t/m april 1981

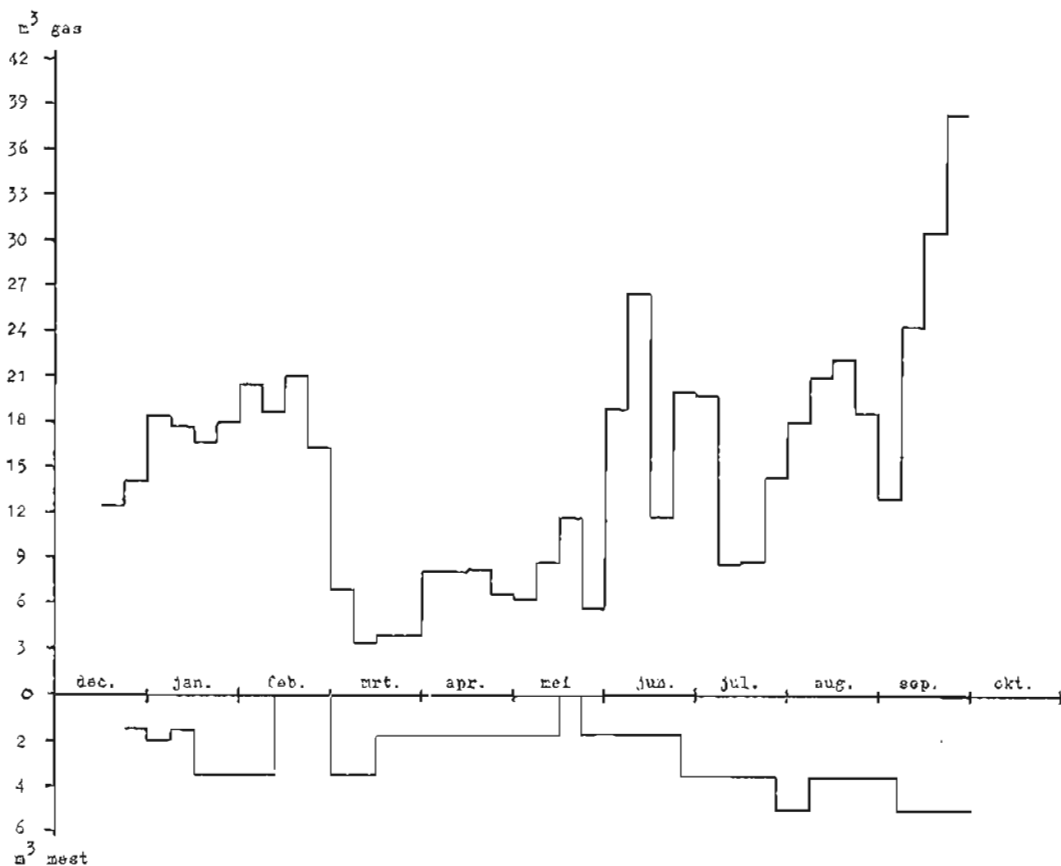


Bijlage 5 Mestaanvoer en gasproduktie per etmaal in 1982

Bijlage 5 Mestaanvoer en gasproduktie per etmaal in 1982.



Bijlage 6 Mestaanvoer en gasproduktie per etmaal van december 1982 t/m oktober 1983





## TOT NU TOE VERSCHENEN RAPPORTEN

Prijs

Nr. 1.	Rundvleesproductie in Frankrijk. Verslag van een studiereis, 1971.	*
Nr. 2.	Proef met propyleenglycol als preferatief middel tegen slepende melkziekte. Ir. A. B. Meijer e.a., 1972.	*
Nr. 3.	Charolais x FH-stieren voor vleesproductie. Ir. W. L. Harmsen, 1972.	*
Nr. 4.	Vleesproductie in Engeland. Ir. W. L. Harmsen e.a., 1971.	*
Nr. 5.	Bijvoeding van melkvee in de weide. Tj. Boxem, mei 1972.	*
Nr. 6.	Nitraatvergiftiging bij rundvee als gevolg van hoge nitraatgehalten in graslandprodukten. W. Willemsen ing., 1972.	*
Nr. 7.	Invloed van herinzaai en stikstof op de opbrengst en de botanische samenstelling van grasland. G. Krist, 1972.	*
Nr. 8.	De invloed van het staltype op de groei van stieren. H. E. Harmsen e.a., 1972.	*
Nr. 9.	Het effect van maatregelen tegen het aaltje <i>Trichodorus teres</i> in grasland. J. J. Woldring, 1972.	*
Nr. 10.	Bijvoeren van krachtvoer aan weidend melkvee in het najaar. J. van Geneijgen, Ing., 1972.	*
Nr. 11.	Oogst, opslag en voeding van snijmais in Noord-Italië. Dr. Ir. D. C. M. Boonman e.a., 1973.	f 4,-
Nr. 12.	Rundvleesproductie in Noord-Italië. Ir. W. L. Harmsen e.a., 1973.	f 4,-
Nr. 13.	Melkvee in nazomer en herfst 's nachts op stal. J. W. F. Hijink e.a., 1973.	f 4,-
Nr. 14.	Het gebruik van de computer in de rundveehouderij. Ir. N. Benedictus, e.a., 1973.	f 4,-
Nr. 15.	Slachtrijp maken van jonge stieren. H. E. Harmsen, 1973.	*
Nr. 16.	Invloed van mierzuur op de opname van kuilvoer door pinken. Ir. S. Schukking e.a., 1973.	f 4,-
Nr. 17.	Verliezen bij het inkuilen van bietenstaartjes. Ing. A. G. Hengeveld, 1973.	f 4,-
Nr. 18.	Snijmais in de rundveevoeding in Frankrijk. Ir. D. Oostendorp e.a., 1973.	*
Nr. 19.	Vleesproductie met afgekalfde vaarzen. Ir. W. L. Harmsen e.a., 1974.	*
Nr. 20.	Voeding van melkvee met weinig ruwvoer. Ing. Tj. Boxem, 1974.	*
Nr. 21.	Oogst, opslag en voeding van snijmais. Werkgroep, 1974.	*
Nr. 22.	Schapenhouderij in Groot-Brittannië. Ir. P. W. Tol, e.a., 1974.	*
Nr. 23.	Muurbestrijding met herbiciden in jong grasland bij lage temperaturen. Ing. L. Roozeboom e.a., 1974.	f 4,-
Nr. 24.	Onderzoek rundvleesproductie in West-Duitsland. Ir. W. L. Harmsen e.a., 1974.	f 4,-
Nr. 25.	Reactie van melkvee op voeding met gedroogd en geperst ruwvoer. Ing. J. van Geneijgen e.a., 1974.	f 4,-
Nr. 26.	Zelfvoeding van snijmaiskuil in vergelijking met andere voedersystemen. Verslag, 1974.	*
Nr. 27.	Voeding van jonge vleesstieren met vers gras en krachtvoer. Ing. H. E. Harmsen e.a., 1974.	*
Nr. 28.	De rundveehouderij in Ierland. 1974.	*
Nr. 29.	Bedrijfsynthese-onderzoek in de Rundveehouderij, 1975.	*
Nr. 30.	Ruwvoerders voor rundvee in Nederland. Productie, handel, gebruik. J. D. Janse, 1975.	*
Nr. 31.	Invloed van grondbewerking op heringezaaid blijvend grasland. Ing. J. J. Woldring, 1975.	f 5,-
Nr. 32.	Periodieke herinzaai van grasland met diepe en ondiepe grondbewerking. J. J. Woldring, 1975.	f 5,-
Nr. 33.	Stikstofbemesting op grasland in het voorjaar. Ing. J. J. Woldring, 1975.	*
Nr. 34.	Grote melkveebedrijven in Canada en de Verenigde Staten. Ir. P. J. M. Snijders, 1975.	*
Nr. 35.	Invloed van herinzaai en stikstof op de opbrengst en de botanische samenstelling van grasland. Ing. J. J. Woldring, 1975.	*
Nr. 36.	Opslag van voordroogkuil en snijmais op melkveebedrijven van 20 ha. Ing. A. R. Ridder, 1975.	*
Nr. 37.	Nitraat- en mineralengehaltes van verse en ingekulde snijmais met een zware organische bemesting. Ing. H. van Dijk e.a., 1975.	f 5,-
Nr. 38.	Grote giften drijfmest op snijmais. Ing. W. Willemsen, 1975.	*
Nr. 39.	Herinzaai van grasland. Verslag van vergelijkend onderzoek met verschillende methoden van herinzaai in de periode 1971 t/m 1974. Ir. W. Luten e.a., Januari 1976.	*
Nr. 40.	Bestrijding van ringworm bij rundvee. Beproeving natamycine. Drs. R. Kommerij, juni 1976.	f 5,-
Nr. 41.	Het verstrekken van krachtvoer in ligboxenstallen. Verslag van een werkgroep, juli 1976.	*
Nr. 42.	Invloed van veldperiode en snelheid van nadrogen op de opname van hooi door melkvee. Ing. A. G. Hengeveld, juli 1976.	*
Nr. 43.	Gecombineerde inkuil- en opnameproef met patataval, bostel en bostelpatatmix. Ing. Tj. Boxem en Ing. A. G. Hengeveld, juli 1976.	f 5,-
Nr. 44.	Broodkuil, siefsilo of torensilo voor opslag van voordroogkuil. Verslag van een werkgroep, september 1976.	f 5,-
Nr. 45.	Automatisering bij de voeding van vleeskalveren. Verslag van een werkgroep, december 1976.	f 5,-
Nr. 46.	Herinzaai van grasland in uiterwaarden. Ing. W. Willemsen, december 1976.	*
Nr. 47.	Het effect van maaien met maaibalk en cirkelmaaier bij verschillende stoppellingen en maaistadia op de opbrengst en botanische samenstelling van grasland. Ing. L. Roozeboom e.a., december 1976.	f 5,-
Nr. 48.	Melkveehouderij en natuurbehoud. Studie in samenwerking met de Cultuurtechnische Dienst. Ing. H. van der Straten en A. van Kekem-Stoffelen, februari 1977.	f 5,-
Nr. 49.	Droge-stofverliezen tijdens de veldperiode. Ing. J. Overvest, april 1977.	*
Nr. 50.	Koppeling melkcontrole-krachtvoeradvisering. Ir. R. Raterink, september 1977.	*
Nr. 51.	Diverse aspecten van hakselen van voorgedroogd gras. Ing. A. G. Hengeveld, augustus 1977.	*
Nr. 52.	Hergroeivertraging tijdens de veldperiode. Ing. J. Overvest, oktober 1977.	f 5,-
Nr. 53.	Berekening op melkveebedrijven. Ir. J. Doornbos e.a., oktober 1977.	*
Nr. 54.	Bestrijding van straatgras in grasland. Ing. L. Roozeboom, november 1977.	f 5,-
Nr. 55.	Onderzoek naar mogelijkheden van een weidebedrijf van 20 ha. Verslag studiegroep, december 1977.	*
Nr. 56.	Pinken op alleen ruwvoer. Ing. Tj. Boxem, juni 1978.	*
Nr. 57.	Normen voor de voedervoorziening. H. Wieling e.a., oktober 1977.	f 10,-
Nr. 58.	Vergelijking tussen Limousin x FH-kruisingen en FH- en MRIJ-stieren. A. Westera e.a., november 1978.	f 5,-
Nr. 59.	Twee krachtvoerniveaus voor vleesstieren met verschil in aanleg voor de vleesproductie. A. Westera en Ing. H. E. Harmsen, november 1978.	f 5,-
Nr. 60.	Calciumpoeders en melkziekte bij melkkoeien. Drs. J. W. Seinhorst, januari 1979.	f 5,-



Nr. 61.	Zaaidiepte en aandrukken bij herinzaai van grasland met Engels raaigras. Ing. L. Roozeboom en Ir. W. Luten, februari 1979.	f 5,-
Nr. 62.	Chemische en mechanische kweekbestrijding in grasland. Ing. L. Roozeboom, maart 1979.	f 5,-
Nr. 63.	Doorzaaien van grasland op veen en kormlei. Ing. L. Roozeboom en Ir. W. Luten, juli 1979.	f 5,-
Nr. 64.	Veterinaire begeleiding op melkveebedrijven met drachtigheidsproblemen. Drs. R. Kommerij, juli 1979.	f 5,-
Nr. 65.	Het kruisen van schapen. Een schatting van baten en kosten. Ir. J. Doeksen e.a., februari 1980.	*
Nr. 66.	Invloed van schudden en van opbrengst bij maaien op droge-stofverliezen en droogverloop. Ing. J. Overvest, december 1979.	*
Nr. 67.	Vleesstierenhouderij. Lineaire programmering van een groot aantal technische en economische mogelijkheden. Ing. H. van der Straten, april 1980.	*
Nr. 68.	Voederbieten. Een bedrijfseconomische studie van een werkgroep. Ing. H. van der Straten, mei 1980.	*
Nr. 69.	Schapenhouderij in Noord-Frankrijk. Verslag van een studiereis in oktober 1979. Ir. J. Doeksen e.a., juni 1980.	f 7,50
Nr. 70.	Invloed van landbouwzout op opname van graskuil. Ing. A. G. Hengeveld, juni 1980.	f 7,50
Nr. 71.	Invloed van een slechte ontwatering op de arbeidsopbrengst. Studie in samenwerking met de Landinrichtingsdienst. H. v. d. Straten e.a., december 1980.	f 7,50
Nr. 72.	Vleesproductie met jonge stieren. Ing. H. E. Harmsen, december 1980.	f 7,50
Nr. 73.	Romensin in krachtvoer voor vleesstieren. Vergelijkend onderzoek. Ir. D. Oostendorp, december 1980.	*
Nr. 74.	Eenmansmelksystemen op tweemansmelkveebedrijven. Technische en economische informatie op grond van een studie met bedrijfsmodellen. Verslag van een werkgroep, december 1980.	f 7,50
Nr. 75.	Stro in de voeding van melkvee en jongvee. Onderzoek te Selmien en Maarheeze 1976-1978. Ing. Tj. Boxem, juli 1981.	f 7,50
Nr. 76.	Veel krachtvoer in verschillende vorm naast stro of voordroogkuil aan melkvee. J. W. F. Hijink, november 1981.	f 7,50
Nr. 77.	Energieverbruik op melkveebedrijven. Ir. P. J. M. Snijders, november 1981.	f 7,50
Nr. 78.	Spoeling in rantsoenen voor vleesstieren. Ing. H. E. Harmsen, januari 1982.	f 7,50
Nr. 79.	Kruising van melkvee in bedrijfsverband vergeleken. Studie in samenwerking met het Instituut voor Veeteeltkundig Onderzoek te Zeist. Ir. A. J. T. van Kekem-Stoffelen, november 1981.	f 7,50
Nr. 80.	Eén- en tweemansmelksystemen op driemansmelkveebedrijven. Technische en economische informatie op grond van een studie met bedrijfsmodellen. Verslag van een werkgroep, januari 1982.	f 7,50
Nr. 81.	Schapenhouderij: bedrijfssituaties, prijsverhoudingen en arbeidsbehoefte. Resultaten van een lineaire programmering. Ir. J. Doeksen, juli 1982.	f 7,50
Nr. 82.	Vleesstieren in geïsoleerde en ongeïsoleerde stallen. Onderzoek op de Vlierd 1976-1980. Groei - Voeder- verbruik - Slachtkwaliteit. Ing. H. E. Harmsen (PR) en Ing. A. C. Smits (IMAG), december 1981.	f 7,50
Nr. 83.	Voersystemen voor de melkveehouderij. Ir. P. J. M. Snijders, december 1982.	f 7,50
Nr. 84.	Snijmaiskuil en/of graskuil in rantsoenen voor vleesstieren. Onderzoek op de Vlierd 1976-1980. Groei - Voeder- verbruik - Slachtkwaliteit. Ing. H. E. Harmsen en A. Westera, september 1982.	f 7,50
Nr. 85.	De computer op het melkveebedrijf. Een economisch-technische oriëntatie. Dr. Ir. A. Kuipers, december 1982.	*
Nr. 86.	Bronstinductie bij schapen. T. Ruiter, april 1983.	f 7,50
Nr. 87.	Het inkuijen van persulp. Ing. J. Overvest en Ing. J. Haaksma, december 1982.	f 7,50
Nr. 88.	Sporen van boterzuurbacteriën in kuilvoer. Ing. A. G. Hengeveld, april 1983.	f 10,-
Nr. 89.	Drie keer daags melken. Ing. W. J. Bruins, maart 1983.	f 10,-
Nr. 90.	Invloed van berijden op produktie en persistentie van grassoorten. Ir. W. Luten, ing. L. Roozeboom, ing. G. J. Rummelink, september 1983.	f 10,-
Nr. 91.	Zomerstalvoeding op een melkveebedrijf. Verslag van 8 jaar onderzoek op de Waiboerhoeve. Ing. W. J. Bruins en Ing. J. van Geneijgen, januari 1984.	f 12,50
Nr. 92.	Conservering en bewaring van eiwitrijke aardappelpersvezels. Ing. J. Corporaal en Ing. W. J. Berenschot, februari 1984.	f 10,-

\* = uitverkocht, te raadplegen in diverse landbouwbibliotheken.

Prijs f 25,-  
Verkrijgbaar bij het Proefstation PR  
Runderweg 6, 8219 PK Lelystad  
door storting op giro 2307421  
met vermelding: Rapport nr. 93